



Vlaanderen
is omgeving



Onderzoek naar representatieve stoffen voor gebruik binnen de QRA (herziening i.h.k.v. het Handboek Risicoberekeningen)

 **Eindrapport**

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Onderzoek naar representatieve stoffen voor gebruik binnen de QRA (herziening i.h.k.v. het Handboek Risicoberekeningen)

Het doel van de studie is het voorstellen van methodes voor het bepalen van een representatieve stof voor de verschillende types stoffen, mengsels en installaties met een niet-homogene inhoud. Representatieve stoffen moeten zodanig gekozen worden dat het risicobeeld dat bekomen wordt in de QRA door de berekeningen uit te voeren met de representatieve stof, representatief is voor het eigenlijke risicobeeld. Een representatief risicobeeld is enerzijds een conservatief doch realistisch risicobeeld.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus

Departement Omgeving

Vlaams Planbureau voor Omgeving

Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel

vpo.omgeving@vlaanderen.be

www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

Luc Vandebroek – M-tech

Filip Van den Schoor – M-tech

PARTNERS



MANAGEMENTSAMENVATTING

Hieronder worden enerzijds de in voorliggende studie ontwikkelde methodes beschreven voor het bepalen van een representatieve stof en worden anderzijds enkele bijkomende aanbevelingen gemaakt.

REPRESENTATIEVE STOFFEN

Algemeen

De keuze voor een representatieve stof voor een groep van twee of meerdere stoffen of voor een mengsel met verschillende componenten kan steeds worden gemaakt op basis van effectieve effect- en risicoberekeningen voor de gehele groep van stoffen of de verschillende componenten van het mengsel. Deze berekeningen dienen in principe dezelfde graad van detail te bevatten als de berekeningen die worden uitgevoerd in de eigenlijke risicoanalyse. Vereenvoudigde berekeningen (bv. op basis van de TWOL *Vlaamse selectiemethode*) kunnen enkel als alternatief worden aanzien daar waar dit in voorliggend rapport expliciet wordt aangegeven of voor situaties waarvoor ook in voorliggende studie geen effectieve berekeningen zijn uitgevoerd. Dit is bijvoorbeeld het geval voor (mengsels van) acuut inhalatoir toxische of ontvlambare gassen en voor reactoren.

De werkwijzen die in onderstaande paragrafen worden beschreven en die onderbouwd worden in voorliggend rapport, vormen een aanvaard alternatief voor het uitvoeren van effectieve effect- en risicoberekeningen.

Indien gerekend wordt met de werkelijke stof of het werkelijke mengsel dat aanwezig is in een installatie of insluitsysteem, dient uiteraard geen rekening gehouden te worden met het onderstaande.

Zuivere acuut inhalatoir toxische vloeistoffen

Voor zuivere acuut inhalatoir toxische vloeistoffen die worden opgeslagen in atmosferische tanks, wordt de toxiciteitsindex TV berekend als

$$TV = C \cdot \frac{M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LC_{01,30min}}$$

waarin M (g/mol) de molaire massa is, p_s (mbar) de dampspanning van de vloeistof bij de opslagtemperatuur, p_a (= 1013 mbar) de omgevingsdruk, $LC_{01,30min}$ (mg/m³) de concentratie die aanleiding geeft tot een kans op doding van 1% bij een blootstelling gedurende 30 minuten en C een constante die gelijkgesteld wordt aan $6,6727 \cdot 10^4$. Voor opslag bij omgevingstemperatuur wordt de opslagtemperatuur gelijkgesteld aan de luchttemperatuur.

Op basis van de berekende indexwaarde wordt een acut inhalatoir toxische vloeistof ingedeeld in één van zes groepen (zie tabel 1). Uit de verwachte aanwezige (en te vergunnen) hoeveelheden aan acut inhalatoir toxisch vloeistoffen in opslag wordt per groep de verwachte (en te vergunnen) hoeveelheid bepaald. Voor elke vertegenwoordigde groep (met uitzondering van groep T5) worden de risicoberekeningen uitgevoerd met behulp van de referentiestof. Een uitzondering is toegelaten voor de hoogst vertegenwoordigde groep (met het laagste groepsnummer). Voor deze groep kunnen de berekeningen uitgevoerd worden met een andere stof uit de groep op voorwaarde dat deze niet gekenmerkt wordt door (*) en dat dit de enige stof in opslag uit de groep is. Dit impliceert evenwel een beperking in de stoffen die binnen de inrichting kunnen opgeslagen worden in atmosferische tanks: indien de risicoberekeningen worden uitgevoerd voor een andere stof in een bepaalde groep (bv. broom in groep T0), dan is het externe mensrisico als conservatief te aanzien voor alle stoffen in de lagere groepen. Dit maakt het mogelijk om een randvoorwaarde zoals “Er worden geen stoffen met een toxiciteitsindex hoger dan 1.500 opgeslagen andere dan broom.” in rekening te brengen in de QRA.

Indien de risicoberekeningen worden uitgevoerd met de referentiestof van een bepaalde groep, dan is het externe mensrisico als representatief te aanzien voor alle stoffen die in dezelfde groep vallen en zijn ze als conservatief te aanzien voor alle stoffen in een lagere groep. Dit impliceert dat een conservatief risicobeeld kan bekomen worden door enkel berekeningen uit te voeren met behulp van de referentiestof voor de hoogste groep (met het laagste groepsnummer).

Tabel 2 geeft de waarde van de toxiciteitsindex voor verschillende vloeistoffen.

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep T0	TV > 1.500	acroleïne	ethyleenimine fosfortrichloride broom fosforoxychloride methacrylonitril
Groep T1	1500 ≥ TV > 500	crotonaldehyde (cis-)	crotonaldehyde (trans-) propyleenimine
Groep T2	500 ≥ TV > 200	acrylonitril	allylalcohol allylchloride(*) methylacrylaat koolstofdissulfide(*)
Groep T3	200 ≥ TV > 75	benzotrichloride	ethyleendibromide 1,2-dichloorethaan dimethylsulfaat tetrachloormethaan
Groep T4	75 ≥ TV > 20	methylchloroacetaat	benzalchloride tetraethyllood methaansulfonylchloride epichloorhydrine glutaraldehyde hydrazine

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep T5	TV ≤ 20	niet relevant voor het extern mensrisico	aniline furfural furfurylalcohol hexamethyleendiisocynaat 2-mercaptoethanol nitrobenzeen benzylchloride tolueendiisocynaat isoforondiisocynaat toluidine (o-)

(*) Doordat deze vloeistof sterk kan afkoelen tijdens de verdamping, kan het gevaar- en risicopotentieel voor de stof in kwestie lager uitvallen dan een stof met een lagere index.

Tabel 1 Indeling van de acuut inhalatoir toxische vloeistoffen in groepen

Stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Dampspanning bij 13°C [mbar]	LC _{01,30min} [mg/m ³]	TV [-]	Seveso III rubriek
acroleïne	107-02-8	56,1	218,9	44,1	20661	H1, H2
acrylonitril	107-13-1	53,1	73,5	532,6	500	H2
allylalcohol	107-18-6	58,1	15,5	241,2	248	H2
allylchloride	107-05-1	76,5	298,7	4160,6	429	-
aniline (35°C)	62-53-3	93,1	1,81	593,3	19	H2
benzalchloride	98-87-3	161,0	0,30	64,2	49	H2
benzotrìchloride	98-07-7	195,5	0,27	21,2	162	H2, 33
benzylchloride	100-44-7	126,6	0,76	418,3	15	H2
broom	7726-95-6	159,8	166,1	335,7	5686	H2, 9
crotonaldehyde (cis-)	4170-30-3	70,1	41,6	126,3	1554	H2
crotonaldehyde (trans-)		70,1	24,1	126,3	892	H2
dichloorethaan (1,2-)	107-06-2	99,0	58,3	4101,2	95	-
dimethylsulfaat	77-78-1	126,1	0,42	41,9	82	H2
epichloorhydrine	106-89-8	92,5	11,0	1689,8	40	H2
ethyleendibromide	106-93-4	187,9	9,1	680,4	167	H2, 33
ethyleenimine	151-56-4	43,1	156,3	62,5	7703	H1, H2, 12
fosforoxychloride	10025-87-3	153,3	21,7	62,6	3541	H2
fosfortrichloride	7719-12-2	137,3	92,5	135,1	6491	H2
furfural	98-01-1	96,1	1,3	3282,1	3	H2

Stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Dampspanning bij 13°C [mbar]	LC _{01,30min} [mg/m ³]	TV [-]	Seveso III rubriek
fururylalcohol	98-00-0	98,1	0,30	256,8	8	H2
glutaraldehyde	111-30-8	100,1	0,18	34,0	36	H2
HMDI (1,6-)	822-06-0	168,2	0,005	27,4	2	H2
hydrazine	302-01-2	32,0	9,0	735,3	26	H2
isoforondiisocynaat	4098-71-9	222,3	0,0005	11,7	0,6	H2
koolstofdissulfide	75-15-0	76,1	296,4	8753,3	201	-
mercaptoethanol (2-)	60-24-2	78,1	1,0	460,0	11	<i>niet opgenomen</i>
methaansulfonylchloride	124-63-0	114,6	1,4	201,2	53	<i>niet opgenomen</i>
methacrylonitril	126-98-7	67,1	53,8	102,1	2392	H2
methylacrylaat	96-33-3	86,1	63,8	1388,8	269	-
methylchloroacetaat	96-34-4	108,5	4,5	561,4	58	H2
nitrobenzeen	98-95-3	123,1	0,13	1809,2	0,6	H2
propyleenimine	75-55-8	57,1	102,4	330,9	1226	H1, H2
tetrachloormethaan	56-23-5	153,8	87,1	8148,2	113	H2
tetraethyllood	78-00-2	323,4	0,20	93,8	46	<i>niet opgenomen</i>
TDI (2,4-) (bij 35°C)	91-08-7	174,2	0,055	84,3	7	H2, 26
toluidine (o-)	95-53-4	107,2	0,12	846,6	1,0	H2

Tabel 2 Toxiciteitsindex van acut inhalatoir toxische vloeistoffen

Mengsels van acut inhalatoir toxische vloeistoffen

Voor vloeistofmengsels van acut inhalatoir toxische vloeistoffen die worden opgeslagen in atmosferische tanks wordt de toxiciteitsindex TV berekend als (zie hoger):

$$TV = C \cdot \frac{M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LC_{01,30min}}$$

De benodigde eigenschappen voor de berekening van de toxiciteitsindex van het mengsel worden als volgt bepaald:

- Indien de **dampdruk** p_s van het mengsel niet gekend is, wordt deze berekend met behulp van de wet van Raoult voor ideale vloeistofmengsels. Deze berekening geeft inzicht in welke

componenten preferentieel verdampen, m.n. de componenten met de grootste bijdrage in de totale dampdruk.

- ❑ De samenstelling van het dampmengsel wordt geschat: ofwel gelijk aan de samenstelling van het vloeistofmengsel, ofwel gebaseerd op de hoger berekende partiële dampdrukken.
- ❑ De **molaire massa** M van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling.
- ❑ De **letale concentratie** $LC_{01,30\min}$ van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling en met behulp van de werkwijze uit module 20 (Intoxicatie) van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

Op basis van de berekende indexwaarde wordt een acuut inhalatoir toxisch vloeistofmengsel ingedeeld in één van zes groepen (zie tabel 1). Vervolgens wordt de hoger beschreven werkwijze voor zuivere stoffen gevolgd.

Opslag van acuut inhalatoir toxische vloeistoffen in magazijnen

Aangezien de verdamping van acuut inhalatoir toxische stoffen niet beschouwd wordt in de berekening van de effecten van een magazijnbrand, zijn stoffeigenschappen die verband houden met de verdamping (zoals de dampspanning) niet relevant in de keuze voor een representatieve stof voor het scenario van een magazijnbrand. De belangrijkste stoffeigenschap in de keuze van een representatieve stof is bijgevolg de toxiciteit en meer bepaald de probitfunctie voor blootstelling aan een toxische stof.

Zuivere ontvlambare vloeistoffen

Voor zuivere vloeistoffen met gevarenaanduiding H224 of H225 – zijnde de ontvlambare vloeistoffen cat.1 of 2 – die worden opgeslagen in atmosferische tanks wordt de ontvlambaarheidsindex OV berekend als:

$$OV = C \cdot \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LEL}$$

waarin p_s (mbar) de dampspanning van de vloeistof bij de opslagtemperatuur is, p_a (= 1013 mbar) de omgevingsdruk, LEL (mol%) de onderste explosiegrens van de stof in de lucht en C een constante die gelijkgesteld wordt aan 1272,68. Voor opslag bij omgevingstemperatuur wordt de opslagtemperatuur gelijkgesteld aan de luchttemperatuur.

Op basis van de berekende indexwaarde wordt een ontvlambare vloeistof ingedeeld in één van vier groepen (zie tabel 3). Uit de verwachte aanwezige hoeveelheden (en te vergunnen) aan ontvlambare vloeistoffen cat.1 of 2 in opslag wordt per groep de verwachte (en te vergunnen) hoeveelheid bepaald. Voor elke vertegenwoordigde groep worden de risicoberekeningen uitgevoerd met behulp van de referentiestof. Een uitzondering is toegelaten voor de hoogst vertegenwoordigde groep (met het laagste groepsnummer). Voor deze groep kunnen de berekeningen uitgevoerd worden met een andere stof uit de groep. Dit impliceert evenwel een

beperking in de stoffen die binnen de inrichting kunnen opgeslagen worden in atmosferische tanks: indien de risicoberekeningen worden uitgevoerd voor een andere stof in een bepaalde groep (bv. n-pentaaan in groep F0), dan is het externe mensrisico als conservatief te aanzien voor alle stoffen in de lagere groepen. Dit maakt het mogelijk om een randvoorwaarde zoals “Er worden geen stoffen met een ontvlambaarheidsindex hoger dan 500 opgeslagen.” in rekening te brengen in de QRA.

Indien de risicoberekeningen worden uitgevoerd met de referentiestof van een bepaalde groep, dan is het externe mensrisico als representatief te aanzien voor alle stoffen die in dezelfde groep vallen en zijn ze als conservatief te aanzien voor alle stoffen in een lagere groep. Dit impliceert dat een conservatief risicobeeld kan bekomen worden door enkel berekeningen uit te voeren met behulp van de referentiestof voor de hoogste groep (met het laagste groepsnummer).

Tabel 4 geeft de waarde van de ontvlambaarheidsindex voor verschillende vloeistoffen.

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep F0	$OV_2 > 350$	pentaaan (iso)-	<p>penteen (1-)</p> <p>isopreen</p> <p>pentaaan (n-)</p> <p>neohexeen</p> <p>diethylether</p> <p>propylamine (iso-)</p>
Groep F1	$150 < OV_2 \leq 350$	cyclopenteen	<p>neohexaan</p> <p>dimethylsulfide</p> <p>cyclopentaaan</p> <p>methyl-tert-butylether</p> <p>ethylmercaptaan</p> <p>propylmercaptaan (iso-)</p> <p>hexeen (1-)</p>
Groep F2	$70 < OV_2 \leq 150$	hexaaan (n-)	<p>ethyltert-butylether</p> <p>aceton</p> <p>tetrahydrofuraan</p> <p>benzeen</p> <p>cyclohexaan</p>
Groep F3	$OV_2 \leq 70$	n-heptaaan (enkel plasbranden)	<p>ethanol</p> <p>ethylacetaat</p> <p>heptaaan (n-)</p> <p>methanol</p> <p>methylethylketon</p> <p>propanol (iso-)</p> <p>propylacetaat (iso-)</p> <p>triethylamine</p> <p>vinylacetaat</p>

Tabel 3 Indeling van de ontvlambare vloeistoffen cat. 1 en 2 in groepen

stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Dampspanning bij 13°C [mbar]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	OV [-]	Seveso III cat.
aceton	67-64-1	58,1	179,3	2,6	13,0	95	P5C
benzeen	71-43-2	78,1	70,6	1,2	8,0	77	P5C
cyclohexaan	110-82-7	84,2	74,3	1,3	7,8	75	P5C
cyclopentaaan	287-92-3	70,1	258,1	1,5	8,9	249	P5C
cyclopenteen	142-29-0	68,1	310,0	1,5	12,1	310	P5C
diethylether	60-29-7	74,1	443,3	1,7	46,0	431	P5A
dimethylsulfide	75-18-3	62,1	398,9	2,2	19,7	289	P5C
ethanol	64-17-5	46,1	38,2	3,3	19,0	15	P5C
ethylacetaat	141-78-6	88,1	67,2	2,2	11,5	40	P5C
ethylmercaptaan	75-08-1	62,1	436,5	2,8	18,0	256	P5A
ethyl tert-butylether	637-92-3	102,2	95,2	1,0	6,8	122	P5C
heptaan (n-)	142-82-5	100,2	32,3	1,1	6,7	39	P5C
hexaan (n-)	110-54-3	86,2	117,0	1,2	7,2	130	P5C
hexeen (1-)	592-41-6	84,2	140,0	1,2	7,9	158	P5C
isopreen	78-79-5	68,1	461,3	1,5	8,9	515	P5A
methanol	67-56-1	32,0	87,0	7,2	36,5	16	P5C
methylethylketon	78-93-3	72,1	68,1	1,8	11,0	49	P5C
methyl-tert-butylether	1634-04-4	88,1	197,5	1,2	8,4	224	P5C
neohexaan	75-83-2	86,2	263,1	1,2	7,0	319	P5C
neohexeen	558-37-2	84,2	359,5	1,2	9,0	465	P5C
pentaaan (iso-)	78-78-4	72,1	588,3	1,4	7,6	790	P5A
pentaaan (n-)	109-66-0	72,1	428,7	1,4	7,8	500	P5C
penteeen (1-)	109-67-1	70,1	538,2	1,4	8,7	689	P5A
propanol (iso-)	67-63-0	60,1	26,4	2,0	12,7	17	P5C
propylacetaat (iso-)	108-21-4	102,1	43,2	1,8	7,2	31	P5C
propylamine (iso-)	75-31-0	59,1	471,4	2,0	10,4	398	P5A
propylmercaptaan	75-33-2	76,2	221,0	1,8	100,0	174	P5C
tetrahydrofuraan	109-99-9	72,1	123,9	2,0	11,8	83	P5C
triethylamine	121-44-8	101,2	50,3	1,2	8,0	54	P5C
vinylacetaat	108-05-4	86,1	83,2	2,6	13,4	42	P5C

Tabel 4 Ontvlambaarheidsindex van ontvlambare vloeistoffen cat. 1 en 2

Wanneer de op- of overslag van ontvlambare vloeistoffen cat. 1 of 2 met minder dan 5 koolstofatomen niet wordt uitgesloten, dan dienen de plasbrandberekeningen voor deze vloeistoffen te worden uitgevoerd met andere representatieve stoffen (zie tabel 5). Indien methanol de enige ontvlambare vloeistof is met minder dan 5 koolstofatomen die binnen de inrichting aanwezig is, dan dienen de plasbrandberekeningen te worden uitgevoerd met methanol (= referentiestof voor indelingsgroep PF2). Indien naast methanol ook ethanol en propanol aanwezig kunnen zijn binnen de inrichting dan dienen de plasbrandberekeningen te worden uitgevoerd met propanol (= referentiestof voor indelingsgroep PF1). Indien naast methanol, ethanol en propanol ook andere ontvlambare vloeistoffen met minder dan 5 koolstofatomen aanwezig kunnen zijn binnen de inrichting dan dienen de plasbrandberekeningen te worden uitgevoerd met diethylether (= referentiestof voor indelingsgroep PF0).

Indelingsgroep	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep PF0	diethylether	tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) dimethylsulfide vinylacetaat propylamine (iso-) ethylmercaptaan methylethylketon ethylacetaat aceton
Groep PF1	propanol (iso-)	ethanol
Groep PF2	methanol	-

Tabel 5 Indeling van ontvlambare vloeistoffen met minder dan 5 koolstofatomen in groepen met afnemende plasbrandeffecten

Mengsels van ontvlambare vloeistoffen

Voor vloeistofmengsels met gevarenaanduiding H224 of H225 – zijnde mengsels van ontvlambare vloeistoffen cat.1 of 2 – die worden opgeslagen in atmosferische tanks wordt de ontvlambaarheidsindex *OV* berekend uit (zie hoger):

$$OV = C \cdot \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LEL}$$

De benodigde eigenschappen voor de berekening van de ontvlambaarheidsindex van het mengsel worden als volgt bepaald:

- Indien de **dampdruk** p_s van het mengsel niet gekend is wordt deze berekend met behulp van de wet van Raoult voor ideale vloeistofmengsels. Deze berekening geeft inzicht in welke componenten preferentieel verdampen, m.n. de componenten met de grootste bijdrage in de totale dampdruk.

- ❑ De samenstelling van het dampmengsel wordt geschat: ofwel gelijk aan de samenstelling van het vloeistofmengsel, ofwel gebaseerd op de hoger berekende partiële dampdrukken.
- ❑ De **onderste explosiegrens LEL** van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling en met behulp van de wet van Le Chatelier.

Op basis van de berekende indexwaarde wordt een ontvlambaar vloeistofmengsel ingedeeld in één van vier groepen (zie tabel 3). Vervolgens wordt de hoger beschreven werkwijze voor zuivere stoffen gevolgd.

Voor winter- en zomerbenzine dient n-pentaaan respectievelijk cyclopentaaan als representatieve stof gebruikt te worden. Indien het onderscheid tussen winter- en zomerbenzine niet gemaakt wordt, dient n-pentaaan gebruikt te worden.

Tot vloeistof verdichte zuivere ontvlambare gassen

Voor zuivere gassen met gevarenaanduiding H220 – zijnde de ontvlambare gassen cat.1 – die als tot vloeistof verdicht gas bij omgevingstemperatuur worden opgeslagen in druktanks en die in tabel 6 zijn opgenomen worden de risicoberekeningen

- ❑ voor de opslag in bovengrondse druktanks uitgevoerd met propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen);
- ❑ voor de opslag in ingeterpte druktanks uitgevoerd met propyleen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen);
- ❑ voor de verladingsactiviteiten via slangen of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met 1-buteen (alle bestudeerde gassen) en propadieen (enkel C₃-gassen) op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.

De explosiegrenzen LEL en UEL die dienen gebruikt te worden voor de risicoberekeningen worden gegeven in tabel 6.

stofnaam	CAS - nummer	kookpunt [°C]	dampspanning bij 13°C [bara]	vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	LEL [vol%]	UEL [vol%]
propyleen	115-07-1	-47,7	8,57	525,8	2,15	11,2
propaan	74-98-6	-42,0	6,93	509,6	2,10	9,5
propadieen	463-49-0	-34,5	5,66	597,5	2,20	17,0
cyclopropaan	75-19-4	-32,8	5,19	619,6	2,40	10,4
dimethylether	115-10-6	-24,8	4,12	675,2	3,30	26,2
methylchloride	74-87-3	-24,2	4,01	935,1	8,10	17,2
vinylchloride	75-01-4	-13,9	2,74	923,3	3,60	33,0
isobutaan	75-28-5	-11,7	2,44	566,3	1,80	8,4
isobuteen	115-11-7	-6,90	2,08	603,2	1,80	9,6

stofnaam	CAS - nummer	kookpunt [°C]	dampspanning bij 13°C [bara]	vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	LEL [vol%]	UEL [vol%]
1-buteen	106-98-9	-6,24	2,05	602,5	1,60	10,0
1,3-butadieen	106-99-0	-4,41	1,91	630,6	1,69	16,0
n-butaan	106-97-8	-0,50	1,65	587,3	1,60	8,4
trimethylamine	75-50-3	2,87	1,45	643,0	2,00	11,6
methyl vinyl ether	107-25-5	5,50	1,35	760,1	2,60	39,0
methyl ethyl ether	540-67-0	7,35	1,27	707,7	2,60	10,1

Tabel 6 Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen cat. 1 (beschouwd in deze studie)

Mengsels van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

Voor **LPG (een mengsel van propaan, n-butaan en isobutaan)** dat als tot vloeistof verdicht gas bij omgevingstemperatuur wordt opgeslagen in druktanks worden de risico-berekeningen

- ❑ voor de opslag in bovengrondse druktanks met een volume groter dan 500 m³ uitgevoerd met isobutaan;
- ❑ voor de opslag in ingeterpte druktanks of bovengrondse druktanks met een volume kleiner of gelijk aan 500 m³ uitgevoerd met propaan;
- ❑ voor de verladingsactiviteiten via slangen of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met isobutaan op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.

Voor een **mengsel van propaan en propyleen** dat als tot vloeistof verdicht gas bij omgevingstemperatuur wordt opgeslagen in druktanks worden de risicoberekeningen voor de opslag, de verladingsactiviteiten via slangen of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met propyleen op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.

Voor een **mengsel van butanen en butenen** dat als tot vloeistof verdicht gas bij omgevingstemperatuur wordt opgeslagen in druktanks worden de risicoberekeningen voor de opslag uitgevoerd met isobutaan en voor de verladingsactiviteiten met slangen of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met 1-buteen op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.

De explosiegrenzen LEL en UEL die dienen gebruikt te worden voor de risicoberekeningen worden gegeven in tabel 6.

Tot vloeistof gekoelde zuivere ontvlambare gassen

Voor zuivere gassen met gevarenaanduiding H220 – zijnde de ontvlambare gassen cat.1 – die als tot vloeistof gekoeld gas bij (quasi) atmosferische druk worden opgeslagen in atmosferische tanks

en die in tabel 7 zijn opgenomen worden de risicoberekeningen voor de opslag, de verladingsactiviteiten en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met ethyleen. De explosiegrenzen LEL en UEL die dienen gebruikt te worden voor de risicoberekeningen worden gegeven in tabel 7.

stofnaam	CAS-nr.	Kookpunt [°C]	Vloeistofdichtheid @ kookpunt [kg/m ³]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	ΔH_c [MJ/kg]	ΔH_v [kJ/kg]
methaan	74-82-8	-161,49	422,5	5,00	15,0	50,0	509,4
ethyleen	74-85-1	-103,74	568,8	2,70	36,0	47,2	480,8
ethaan	74-84-0	-88,60	544,4	3,00	12,4	47,5	488,1
propyleen	115-07-1	-47,70	611,6	2,15	11,2	45,8	445,1
propaan	74-98-6	-42,04	582,5	2,10	9,5	46,3	425,0
isobutaan	75-28-5	-11,72	594,4	1,80	8,4	45,6	365,3
isobuteen	115-11-7	-6,90	626,5	1,80	9,6	45,0	392,9
1-buteen	106-98-9	-6,24	625,5	1,60	10,0	45,3	393,0
n-butaan	106-97-8	-0,50	602,4	1,60	8,4	45,7	385,5

Tabel 7 Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen cat. 1 (beschouwd in deze studie)

Mengsels van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

Voor **LNG** dat als tot vloeistof gekoeld gas bij (quasi) atmosferische druk wordt opgeslagen in atmosferische tanks worden de risicoberekeningen voor de opslag, de verladingsactiviteiten en de bij de verlading gebruikte leidingen uitgevoerd met methaan. De explosiegrenzen LEL en UEL die dienen gebruikt te worden voor de risico-berekeningen worden gegeven in tabel 7.

Insluitsystemen met een niet-homogene inhoud

De hieronder beschreven werkwijze is slechts een voorstel.

Destillatiesecties

1. Op basis van de procescondities worden de installaties toegekend aan de top- of de bodemsectie.
2. Voor de representatieve druk en de temperatuur worden de condities in de top- en de bodemsectie van de kolom als uitgangspunt genomen.
3. Voor beide secties wordt een representatieve stof gekozen op basis van de in deze sectie aanwezige stoffen.
- 4a. Indien er een tweefase-evenwicht heerst in de kolom wordt de werkelijke druk in de kolomsectie als representatief beschouwd. Als representatieve temperatuur wordt de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van de representatieve stof genomen. Er wordt bijkomend nagegaan of een andere keuze voor een representatieve stof uit de in de sectie

aanwezige stoffen niet leidt tot een betere overeenstemming tussen de representatieve en de werkelijke temperatuur.

- 4b. Indien er geen tweefase-evenwicht heerst in de kolom worden de werkelijke druk en temperatuur als representatief beschouwd.
5. Op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode wordt de top- of de bodemsectie als representatief genomen voor de volledige destillatiesectie.

Koelkringlopen

1. Op basis van de procesdruk worden de installaties toegekend aan de drukk niveaus.
- 2a. Indien er (overwegend) een tweefase-evenwicht heerst in het drukk niveau wordt de werkelijke druk als representatief beschouwd. Als representatieve temperatuur wordt de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van het koelmiddel genomen.
- 2b. Indien er geen tweefase-evenwicht heerst in het drukk niveau wordt de werkelijke druk en temperatuur van de installatie met de grootste massa als representatief beschouwd. Indien verschillende installaties een vergelijkbare massa hebben wordt de keuze gemaakt op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode.
3. Op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode wordt een drukk niveau als representatief genomen voor de volledige koelkringloop.

BIJKOMENDE AANBEVELINGEN

Ontplobbare stoffen

Vuurwerk

Er dient in de QRA een duidelijk onderscheid gemaakt te worden tussen professioneel vuurwerk en consumentenvuurwerk:

- Voor professioneel vuurwerk wordt er conservatief aangenomen dat dit klasse 1.1 betreft en wordt met het risico van een massa-explosie rekening gehouden.
- Voor consumentenvuurwerk wordt er aangenomen dat dit klasse 1.4S of 1.4G betreft.

TNT-equivalentie

De effecten van een massa-explosie worden doorgaans berekend met behulp van een TNT-equivalentiemodel. De TNT-equivalentiefactor is dan ook een belangrijke stof-eigenschap in de berekening van de effecten van ontplofbare stoffen.

De TWOL *Vlaamse selectiemethode* geeft het TNT-equivalent van een aantal ontplofbare stoffen. Het is dan ook aanbevolen deze te gebruiken.

Voor organische peroxiden dringt een keuze zich op tussen een gemiddelde waarde van 33% of een conservatieve waarde van 50%. Gelet op het relatief geringe verschil in de resulterende effectafstanden, wordt aanbevolen de conservatieve waarde van 50% te nemen als representatief.

INHOUD

1	Inleiding	18
1.1	Doel van de studie	18
1.2	Indeling van stoffen	19
1.3	Onderzoeksactiviteiten	23
1.3.1	Literatuurstudie	23
1.3.2	Methodes voor het bepalen van een representatieve stof	24
2	Bulkopslag	25
2.1	Literatuurstudie – Vlaamse OVR's	26
2.1.1	Bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen	26
2.1.2	Bulkopslag tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen	48
2.1.3	Bulkopslag tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen	50
2.1.4	Opslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in ISO-tankcontainers	52
2.2	Literatuurstudie – Nederland	57
2.2.1	Stofcategorieën	57
2.2.2	Voorbeeldstoffen	58
2.3	Casestudies	60
2.3.1	Acuut inhalatoir toxische vloeistoffen	60
2.3.2	Ontvlambare vloeistoffen	88
2.3.3	Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen	115
2.3.4	Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen	156
3	Mengsels	176
3.1	Achtergrond	177
3.1.1	Aardoliefracties	177
3.1.2	Aardgas	179
3.2	Literatuurstudie	180
3.2.1	LNG	180
3.2.2	Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen (LPG ...)	180
3.2.3	Aardoliefracties (nafta, benzine ...)	180
3.2.4	Overige	184
3.3	Mengsels van acuut inhalatoir toxische of ontvlambare vloeistoffen	186
3.3.1	Algemeen	186
3.3.2	Voorgestelde werkwijzen	187
3.3.3	Aardoliefracties	189

3.4	Mengsels van tot vloeistof verdichte of gekoelde ontvlambare gassen	190
3.4.1	Mengsels van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen	190
3.4.2	Mengsels van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen	190
4	Insluitsystemen met een niet-homogene inhoud.....	192
4.1	QRA van een insluitsysteem bestaande uit meerdere installaties	193
4.1.1	Relevante richtlijnen voor het uitvoeren van een QRA	193
4.1.2	Afbakening insluitsystemen	193
4.1.3	Afstemming tussen selectie en QRA	194
4.2	Destillatiesecties	196
4.2.1	Literatuurstudie	196
4.2.2	Voorgestelde werkwijze	208
4.3	Koelkringlopen	217
4.3.1	Literatuurstudie	217
4.3.2	Voorgestelde werkwijze	222
4.4	Reactoren	226
4.4.1	Literatuurstudie	226
4.4.2	Voorgestelde werkwijze	228
5	Opslag in magazijnen	229
5.1	Opslag van toxische vloeistoffen in magazijnen	229
5.1.1	Literatuurstudie – Vlaamse OVR's	229
5.1.2	Bevindingen	231
5.2	Opslag van stoffen met hetero-atomen in magazijnen	232
5.2.1	Literatuurstudie – Vlaamse OVR's	232
5.2.2	Bevindingen	234
5.3	Conclusie	235
6	Ontploffbare stoffen.....	236
6.1	Algemeen	236
6.2	Literatuurstudie	237
6.2.1	OVR/08/02 FN Herstal – afdeling Zutendaal	237
6.2.2	OVR/13/01 Janssen Pharmaceutica	237
6.2.3	OVR/13/07 Luik Natie Storage – Magazijn Beverland	238
6.2.4	OVR/13/16 Kaneka Belgium	239
6.2.5	OVR/13/40 Van Moer Cleaning & Repair	239
6.2.6	OVR/13/42 Indaver	240
6.2.7	OVR/13/50 Borealis Polymers	241

6.2.8	OVR/14/04 Buckman Laboratories	241
6.3	Aandachtspunten	242
6.3.1	Vuurwerk	242
6.3.2	TNT-equivalentie	242
7	Stoftypes met een verwaarloosbare impact	243
8	Aandachtspunten m.b.t. omgevingsvergunningaanvraag en milieu-inspectie	246
8.1	Acuut inhalatoir toxische vloeistoffen	246
8.2	Ontvlambare vloeistoffen	247
9	Referenties	250
10	Bijlagen	251
10.1	Casestudie 'Ontvlambare vloeistoffen' met inbegrip van het scenario plasbrand	251
10.1.1	Bestudeerde stoffen	251
10.1.2	Bestudeerde installatie-onderdelen	251
10.1.3	Rekenmethode en aangewende modellen	251
10.1.4	Resultaten van de effect- en risicoberekeningen	254
10.1.5	Conclusies	266

1 INLEIDING

1.1 DOEL VAN DE STUDIE

Het doel van de studie is het voorstellen van methodes voor het bepalen van een representatieve stof voor

- ❑ de verschillende types stoffen;
- ❑ mengsels;
- ❑ installaties met een niet-homogene inhoud.

Onder ‘representatieve stof’ wordt verstaan een stof die zodanig gekozen is dat het risicobeeld dat bekomen wordt in de QRA door de berekeningen uit te voeren met de representatieve stof, representatief is voor het eigenlijke risicobeeld. Een representatief risicobeeld is enerzijds een conservatief risicobeeld (i.e. geen onderschatting van het externe mensrisico) en anderzijds een realistisch risicobeeld, o.a. rekening houdend met de stoffen die verwacht worden aanwezig te zullen zijn.

De voorgestelde methodes zijn deels gebaseerd op effect- en risicoberekeningen. Deze effect- en risicoberekeningen zijn in dit rapport uitgevoerd in overeenstemming met het Handboek Risicoberekeningen (versie 2.0 – 01/04/2019).

1.2 INDELING VAN STOFFEN

Er zal in de studie rekening gehouden worden met de verschillende types stoffen zoals gedefinieerd in de Seveso III-richtlijn (overeenkomstig de CLP-verordening) – dit omvat zowel de verschillende categorieën gevaarlijke stoffen uit deel 1 van bijlage I (zie tabel 1.2.1) als de met naam genoemde stoffen uit deel 2 van bijlage I – en in het VLAREM. Een met naam genoemde stof hoeft niet per se als representatieve stof gekozen te worden, maar wordt beschouwd als één van de mogelijke representatieve stoffen voor de groep stoffen met gelijkaardige gevaarseigenschappen.

VLAREM maakt volgende indeling van gevaarlijke vloeistoffen:

- ❑ gevaarlijke vloeistoffen van groep 1:
ontvlambare vloeistoffen van gevarencategorie 1, 2 en 3 volgens de CLP-verordening met een vlampunt lager dan 55 °C;
- ❑ gevaarlijke vloeistoffen van groep 2:
 - a) ontvlambare vloeistoffen van gevarencategorie 3, uitsluitend gekenmerkt door gevarenpictogram GHS02 volgens de CLP-verordening, met een vlampunt gelijk aan of hoger dan 55 °C, en
 - b) vloeibare brandstoffen en petroleumproducten gekenmerkt door gevarenpictogram GHS02 volgens de CLP-verordening met een vlampunt gelijk aan of hoger dan 55 °C;
- ❑ gevaarlijke vloeistoffen van groep 3:
vloeistoffen gekenmerkt door minstens één gevarenpictogram volgens de CLP-verordening, andere dan gevaarlijke vloeistoffen van groep 1 en groep 2.

en volgende indeling van gevaarlijke gassen:

- ❑ gevaarlijke gassen van groep 1:
gassen gekenmerkt door gevarenpictogram GHS02 [ontvlambaar];
- ❑ gevaarlijke gassen van groep 2:
gassen gekenmerkt door gevarenpictogram GHS06 [giftig];
- ❑ gevaarlijke gassen van groep 3:
gassen gekenmerkt door gevarenpictogram GHS03 [oxiderend];
- ❑ gevaarlijke gassen van groep 4:
de andere gassen, die niet vermeld zijn in groep 1 tot en met groep 3.

Hierbij heeft gevarenpictogram GHS02 voorrang op gevarenpictogram GHS06, hebben gevarenpictogrammen GHS02 en GHS06 voorrang op gevarenpictogram GHS03 en hebben gevarenpictogrammen GHS02, GHS06 en GHS03 voorrang op alle andere gevarenpictogrammen.

Rubriek	Omschrijving	H-zin	Lage drempel [ton]	Hoge drempel [ton]
H1	acuut toxisch cat. 1 (oraal)	H300	5	20
	acuut toxisch cat. 1 (dermaal)	H310		
	acuut toxisch cat. 1 (inademing)	H330		
H2	acuut toxisch cat. 2 (oraal)	H300	50	200
	acuut toxisch cat. 3 (oraal)	H301*		
	acuut toxisch cat. 2 (dermaal)	H310		
	acuut toxisch cat. 2 (inademing)	H330		
	acuut toxisch cat. 3 (inademing)	H331		
H3	specifieke doelorgaantoxiciteit bij éénmalige blootstelling cat. 1	H370	50	200
P1a	instabiele ontplofbare stof	H200	10	50
	ontplofbare stof subklasse 1.1	H201		
	ontplofbare stof subklasse 1.2	H202		
	ontplofbare stof subklasse 1.3	H203		
	ontplofbare stof subklasse 1.5	H205		
	ontplofbare stof subklasse 1.6	-		
	stof of mengsel met explosieve eigenschappen volgens methode A.14 van verordening 440/2008	-		
P1b	ontplofbare stof subklasse 1.4**	H204	50	200
P2	ontvlambaar gas cat. 1	H220	10	50
	ontvlambaar gas cat. 2	H221		
P3a	ontvlambaar aerosol cat. 1 die een ontvlambaar gas cat. 1 of 2 of een ontvlambare vloeistof cat. 1 bevat	H222	150 (netto)	500 (netto)
	ontvlambaar aerosol cat. 2 die een ontvlambaar gas cat. 1 of 2 of een ontvlambare vloeistof cat. 1 bevat	H223		
P3b	ontvlambaar aerosol cat. 1 die GEEN ontvlambaar gas cat. 1 of 2 NOCH een ontvlambare vloeistof cat. 1 bevat	H222	5000 (netto)	50000 (netto)

Rubriek	Omschrijving	H-zin	Lage drempel [ton]	Hoge drempel [ton]
	ontvlambaar aerosol cat. 2 die GEEN ontvlambaar gas cat. 1 of 2 NOCH een ontvlambare vloeistof cat. 1 bevat	H223		
P4	oxiderend gas cat. 1	H270	50	200
P5a	ontvlambare vloeistof cat. 1	H224	10	50
	ontvlambare vloeistof cat. 2 die bij een temperatuur hoger dan zijn kookpunt wordt gehouden	H225		
	ontvlambare vloeistof cat. 3 die bij een temperatuur hoger dan zijn kookpunt wordt gehouden	H226		
	overige vloeistof met vlampunt $\leq 60^{\circ}\text{C}$ die bij een temperatuur hoger dan zijn kookpunt wordt gehouden	-		
P5b	ontvlambare vloeistof cat. 2 indien bijzondere procescondities gevaren voor zware ongevallen kunnen doen ontstaan	H225	50	200
	ontvlambare vloeistof cat. 3 indien bijzondere procescondities gevaren voor zware ongevallen kunnen doen ontstaan	H226		
	overige vloeistof met vlampunt $\leq 60^{\circ}\text{C}$ indien bijzondere procescondities gevaren voor zware ongevallen kunnen doen ontstaan	-		
P5c	ontvlambare vloeistof cat. 2 indien deze niet behoort tot rubrieken P5a of P5b	H225	5000	50000
	ontvlambare vloeistof cat. 3 indien deze niet behoort tot rubrieken P5a of P5b	H226		
P6a	zelfontledende stof of mengsel type A of organische peroxide type A	H240	10	50
	zelfontledende stof of mengsel type B of organische peroxide type B	H241		
P6b	zelfontledende stof of mengsel type C, D, E of F of organische peroxide type C, D, E of F	H242	50	200
P7	pyrofore vloeistof of vaste stof cat. 1	H250	50	200

Rubriek	Omschrijving	H-zin	Lage drempel [ton]	Hoge drempel [ton]
P8	oxiderende vloeistof of vaste stof cat. 1	H271	50	200
	oxiderende vloeistof of vaste stof cat. 2 of 3	H272		
E1	acuut gevaar voor het aquatisch milieu cat. 1	H400	100	200
	chronisch gevaar voor het aquatisch milieu cat. 1			
E2	chronisch gevaar voor het aquatisch milieu cat. 2	H411	200	500
O1	stof of mengsel met gevarenaanduiding EUH014 "reageert heftig met water"	EUH014	100	500
O2	stof of mengsel dat in contact met water ontvlambare gassen ontwikkelt cat. 1	H260	100	500
O3	stof of mengsel met gevarenaanduiding EUH029 "vormt giftig gas in contact met water"	EUH029	50	200

* wanneer noch de indeling acute toxiciteit bij inademing noch de indeling acute dermale toxiciteit kunnen worden afgeleid

** indien uitgepakt of opnieuw ingepakt wordt deze in rubriek P1a ingedeeld, tenzij anders aangetoond

Tabel 1.2.1 Categorieën gevaarlijke stoffen op basis van de Seveso III-richtlijn

1.3 ONDERZOEKSACTIVITEITEN

De studie omvat volgende onderzoeksactiviteiten:

- ❑ literatuurstudie
- ❑ voorstellen methodes voor het bepalen van een representatieve stof voor de verschillende types stoffen
- ❑ voorstellen methodes voor het bepalen van een representatieve stof voor mengsels
- ❑ voorstellen methodes voor het bepalen van een representatieve stof voor installaties met een niet-homogene inhoud
- ❑ voorstellen van de wijze waarop hiermee moet omgegaan worden in het kader van omgevingsvergunningsverlening en milieu-inspectie

Gelet op het zeer ruime bereik van types gevaarlijke stoffen, mengsels en installaties met een niet-homogene inhoud, zal er slechts een diepgaande analyse uitgevoerd worden voor

- ❑ acuut (inhalatoir) toxische vloeistoffen;
- ❑ ontvlambare vloeistoffen;
- ❑ tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen;
- ❑ vaak voorkomende mengsels, zoals LNG, LPG, benzine, kerosine, diesel, nafta en gasolie;
- ❑ reactoren, destillatiekolommen en condensoren en verdamperen.

Ter volledigheid zal evenwel op basis van een analyse van de Vlaamse veiligheidsrapporten nagegaan worden hoe heden in Vlaanderen ook voor andere types gevaarlijke stoffen (bv. ontplofbare stoffen en acuut toxisch onverbrande producten bij magazijnbrand), andere mengsels (bv. mengsels van acuut (inhalatoir) toxische gassen of ontvlambare gassen) en andere installaties de keuze voor een representatieve stof gemaakt wordt. Waar mogelijk zal ook voor deze situaties op basis van de resultaten van de literatuurstudie getracht worden om te komen tot een algemeen aanvaarde methode voor het bepalen van een representatieve stof.

1.3.1 Literatuurstudie

Gezien het een redelijk beperkte opdracht betreft, wordt de literatuurstudie beperkt tot Vlaanderen en Nederland. Deze twee gebieden zijn immers het meest relevant voor het project: Vlaanderen en Nederland zijn onderworpen aan de Seveso-wetgeving en leggen toepassing van een kwantitatieve risicoanalyse op in de veiligheidsrapporten.

Concreet zullen de meest recente (goedgekeurde) Vlaamse omgevingsveiligheidsrapporten (OVR's) bestudeerd worden. Deze rapporten dateren van voor het in werking treden van de Seveso III-richtlijn.

De beschrijving die in de literatuurstudie gegeven wordt, is woordelijk overgenomen uit het desbetreffende omgevingsveiligheidsrapport. De verwoording is hier en daar aangepast om deze meer in lijn te brengen met de rest van het document en er zijn enkele tabellen toegevoegd om de vergelijking te vergemakkelijken. Specifieke opmerkingen worden in het cursief weergegeven.

1.3.2 Methodes voor het bepalen van een representatieve stof

De keuze voor een representatieve stof wordt in de praktijk (i.c. in de OVR's) op verschillende manieren onderbouwd:

- ❑ een kwalitatieve vergelijking van stoffen op basis van de stofeigenschappen en/of de aanwezigheid;
- ❑ een kwantitatieve vergelijking van stoffen op basis van een index samengesteld uit meerdere stofeigenschappen;
- ❑ een effect- of risicoberekening.

De kwalitatieve vergelijking is de meest eenvoudige, maar tevens de minst betrouwbare methode aangezien de keuze voor een representatieve stof mogelijk gebaseerd wordt op niet-relevante of minder geschikte stofeigenschappen. Zo blijkt bijvoorbeeld uit de casestudies voor ontvlambare vloeistoffen (zie § 2.3.2) dat de grootte van het explosiebereik niet de meest geschikte vergelijkingsbasis is om de effecten van een gaswolkexplosie en/of wolkbrand in te schatten. Het is immers beter om hiervoor de onderste explosiegrens te nemen.

Bovendien laat een kwalitatieve benadering niet steeds een eenduidige vergelijking toe van twee stoffen. Zo is het bijvoorbeeld niet mogelijk in te schatten of stof A met een hoge dampspanning en lage toxiciteit een groter risico inhoudt dan stof B met een lage dampspanning en hoge toxiciteit. De methode is in se wel geschikt om een – al dan niet fictieve – meest conservatieve stof te bepalen als zijnde de stof die een aantal extreme stofeigenschappen combineert, bijvoorbeeld de hoogste dampspanning en de hoogste toxiciteit.

Een effect- of risicoberekening is in se de beste methode om twee of meerdere stoffen met elkaar te vergelijken. Om uiteindelijk te komen tot een representatieve stof voor een categorie stoffen is deze methode minder geschikt, aangezien het onmogelijk is om voor alle mogelijke stoffen berekeningen uit te voeren.

De gulden middenweg wordt gevonden in een index samengesteld uit de meest relevante stofeigenschappen die een snelle, kwantitatieve vergelijking van meerdere stoffen uit eenzelfde stofcategorie mogelijk maakt. In § 2 zal dan ook getracht worden om een index af te leiden voor de bulkopslag van verschillende stofcategorieën.

2 BULKOPSLAG

Het probleem van de keuze voor een representatieve stof stelt zich hoofdzakelijk bij de bulkopslag van gevaarlijke stoffen voor derden¹. Hierbij zijn er verschillende mogelijkheden:

- ❑ opslag van **acuut (inhalatoir) toxische vloeistoffen** in atmosferische tanks;
- ❑ opslag van **ontvlambare vloeistoffen** in atmosferische tanks;
- ❑ opslag van **tot vloeistof onder druk verdichte ontvlambare gassen** in druktanks;
- ❑ cryogene opslag van **gekoelde tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen** in atmosferische tanks.

Voor de opslag van acut (inhalatoir) toxische (tot vloeistof verdichte) gassen op het terrein van een Seveso-inrichting is in de regel geweten welk gas zal worden opgeslagen in welke installatie.

Voor de hierboven opgesomde types stoffen zal op basis van een casestudie onderzocht worden welke stoffeigenschappen (hoofdzakelijk) het risico bepalen. Het doel van de casestudies is om voor de onderzochte types stoffen een methode op te stellen die een relatieve rangschikking mogelijk maakt van de verschillende stoffen (die tot het onderzochte type behoren). Er wordt naar gestreefd om deze methode kwantitatief te onderbouwen², m.n. door deze te baseren op één getal dat een maat is voor het externe mensrisico, waarbij bv. een hoger getal wijst op een groter risico.

Voor elk (sub)type stof zal één representatieve stof afgeleid worden, die standaard in de risicoanalyse dient gebruikt te worden indien er geen randvoorwaarden zijn. Indien er wel randvoorwaarden zijn, zoals een beperking op de mogelijke stoffen die worden opgeslagen, kan op basis van de relatieve rangschikking een representatieve stof afgeleid worden, rekening houdend met deze randvoorwaarden.

¹ Procesinstallaties zijn doorgaans ontworpen om met een bepaalde stof (of mengsel van stoffen) te werken, zodat in de QRA van procesinstallaties geweten is met welke stof dient gerekend te worden. Hetzelfde geldt voor installaties voor opslag voor eigen gebruik.

² Indien dit evenwel niet haalbaar zou blijken, zal gekozen worden voor een semi-kwantitatieve onderbouwing.

2.1 LITERATUURSTUDIE – VLAAMSE OVR'S

2.1.1 Bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen

De moeilijkheid betreffende het uitvoeren van een QRA voor een terminal voor de bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in atmosferische tanks is dat op voorhand niet geweten is welke producten in welke hoeveelheden en met welke frequentie zullen opgeslagen worden.

De Seveso-tabel en meer bepaald de indeling van gevaarlijke stoffen in categorieën is gebaseerd op slechts enkele stoffeigenschappen (zoals bv. de toxiciteit en het vlampunt), terwijl het externe mensrisico dat verbonden is aan een vrijzetting van een gevaarlijke stof (zwaar ongeval), ook bepaald wordt door de eigenschappen die de verspreiding van een gevaarlijke stof beïnvloeden:

- ❑ Voor (zeer) toxische vaste stoffen wordt vaak geargumenteed dat deze stoffen niet relevant zijn voor het externe mensrisico gelet op het feit dat deze zich moeilijk verspreiden in de omgeving.
- ❑ Voor vloeistoffen, die bij een vrijzetting een vloeistofplas vormen, zijn o.a. de dampspanning en de molaire massa relevant in de verdamping en/of de dispersie. Dit heeft als gevolg dat het in de praktijk doorgaans weinig zinvol blijkt verschillende representatieve stoffen te kiezen voor de zeer toxische vloeistoffen en de toxische vloeistoffen of voor de licht ontvlambare en de zeer licht ontvlambare vloeistoffen.

Een bijkomend aandachtspunt voor een terminal voor de bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen is dat wel geweten is hoeveel m³ vloeistof er mogelijk aanwezig is in de inrichting (op basis van de inhoud van de aanwezige opslagtanks), maar niet hoeveel kg vloeistof (aangezien niet op voorhand geweten is welke producten zullen opgeslagen worden). De representatieve stoffen die gekozen worden, zijn vaak vluchtige stoffen met een hoge dampspanning en een lage dichtheid. Hierdoor wordt in de QRA vaak uitgegaan van een volume vloeistoffen dat overeenstemt met het maximaal aanwezige volume (i.e. er wordt verondersteld dat alle opslagtanks maximaal gevuld zijn), terwijl de massa vloeistoffen lager is dan de maximaal aanwezige massa. Dit impliceert evenwel geenszins dat het berekende risico een onderschatting zou zijn.

2.1.1.1 OVR/11/07 Oiltanking Stolthaven Antwerpen (OTSA)

In het meest recente OVR van OTSA (Oiltanking Stolthaven Antwerpen) wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van 1.387.950 m³ in atmosferische tanks. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 12.250 ton (niet met naam genoemde) zeer toxische vloeistoffen, 522.350 ton toxische vloeistoffen, 1.392.627 ton (licht) ontvlambare vloeistoffen en 971.350 ton zeer licht ontvlambare vloeistoffen.

Seveso-tabel		QRA (niet overgenomen uit OVR)			
Categorie	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
1. Zeer toxisch	12.250	12.250	methacrylonitril	5.694	4.555
2. Toxisch	522.350	522.350	acrylonitril	51.246	40.997
			benzeen	555.175	487.444
			aniline	niet relevant	
6. Ontvlambaar	1.392.627	1.392.627	isopentaaan	555.175	344.209
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen	1.392.627	1.392.627	isopropylamine	138.800	95.772
8. Zeer licht ontvlambaar	971.350	971.350	methanol	693.975	548.240
methanol	612.725	487.120			
TDI	10.000	12.250			
aardolieproducten	1.392.627	1.392.627			

Tabel 2.1.1.1.1 Seveso-tabel OTSA (OVR/11/07)

De gevaarlijke vloeistoffen die courant op de inrichting aanwezig zijn, worden ondergebracht in drie groepen, m.n. de minerale oliën, bulkchemie en fijnchemie³. Onder de noemer **minerale oliën** worden diesel, kerosine, benzine, nafta, gascondensaat en andere koolwaterstofmengsels verstaan. Deze stoffen zijn doorgaans niet acuut toxisch maar wel brandbaar. De groep van de **bulkchemie** wordt vertegenwoordigd door benzeen, methanol, methyl-tert-butylether, 1,2-dichloorethaan, xylenen en di-n-buteen. Zoals de minerale oliën worden ook de stoffen uit de bulkchemie gekenmerkt door een beperkte acute toxiciteit. Enkel methanol en benzeen worden ingedeeld als toxische stoffen. Onder chemicaliën uit de sector van de **fijnchemie** worden o.a. aromaten, amines, alcoholen, acrylaten en acetaten verstaan. Het betreft een waaier van chemicaliën met uiteenlopende eigenschappen op het vlak van toxiciteit en brandbaarheid. Omwille van de grote diversiteit aan stoffen die onder de noemer fijnchemie ressorteren, is geopteerd om vrijzettingen van deze stoffen te modelleren met verschillende representatieve stoffen zowel voor de effecten van brand als deze van intoxicatie.

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

³ Het betreft hier een indeling van de stoffen in bulk- en fijnchemie gemaakt door de exploitant.

groep		brand	toxiciteit
minerale oliën	diesel, kerosine, benzine ...	gascondensaat (isopentaaan)	/
bulkchemie	benzeen, methanol, methyl-tert-butylether ...	methanol	benzeen
fijnchemie	aniline, acrylonitril, acrylzuur, azijnzuur, azijnzuuranhydride, butanal, butanol (n-), butylmethacrylaat (n-), cyclohexaan, cyclopentaaan ...	/	methacrylonitril
		isopropylamine	acrylonitril
		methanol	aniline

Tabel 2.1.1.1.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen OTSA (OVR/11/07)

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – In de risicoanalyse wordt gascondensaat weerhouden als representatieve stof voor de **minerale oliën** omwille van de hoge dampspanning en de lage onderste explosiegrens. Gascondensaat wordt bij het uitvoeren van de effectberekeningen gemodelleerd als isopentaaan.

Methanol wordt weerhouden als representatieve stof voor de **bulkchemie** omwille van de relatief hoge dampspanning en de hoge aanwezigheid van het product op de site.

Methanol en isopropylamine worden weerhouden als de representatieve stoffen voor de **fijnchemie**. Methanol vertegenwoordigt hierbij de (licht) ontvlambare vloeistoffen met een beperkte tot matige vluchtigheid. Isopropylamine dat een hoge dampspanning heeft, vertegenwoordigt de vloeistoffen met een hoge vluchtigheid waarbij in geval van een vrijzetting omvangrijke brandbare wolken kunnen ontstaan.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – In de risicoanalyse worden geen toxische effecten beschouwd voor de **minerale oliën**.

Voor de **bulkchemie** worden enkel methanol en benzeen ingedeeld als toxische stoffen. Benzeen wordt als representatieve stof weerhouden omwille van de lage LC-waarde en de hoge dampspanning.

Voor de **fijnchemie** worden drie representatieve stoffen weerhouden, m.n. aniline, acrylonitril en methacrylonitril. Aniline vertegenwoordigt de grootste groep van toxische stoffen die bij calamiteiten doorgaans omwille van hun lage vluchtigheid een beperkte impact hebben op de omgeving extern aan de inrichting. Acrylonitril dat een vergelijkbare toxiciteit heeft als aniline (op basis van de LC-waarde) maar veel vluchtiger is, heeft een grote toxische impact. Methacrylonitril waarvan de vluchtigheid vergelijkbaar is met deze van acrylonitril maar waarvan de LC-waarde veel lager ligt heeft een zeer grote toxische impact.

OVERZICHT – De opslag van stoffen uit de fijnchemie met een (zeer) grote toxische impact op de omgeving, zoals vertegenwoordigd door methacrylonitril en acrylonitril, wordt beperkt tot de recent gebouwde of nog te realiseren tankenparken (d.i. TP 14, TP 15, TP 20, TP 21, TP 22 en TP 6 met ringmanteltanks). De maximale aanwezigheid van deze producten wordt beperkt tot 56.500 m³. Rekening houdende met de tankenparken waarin deze stoffen zullen worden opgeslagen en de opslagcapaciteit die hiermee overeenkomt, bedraagt de aanwezigheid van deze

stoffen 40%. De onderlinge verdeling tussen stoffen vertegenwoordigd door acrylonitril en methacrylonitril wordt ingeschat op basis van de huidige aanwezigheid van de toxische referentiestoffen uit de productgroepen en bedraagt 10 tot 1 of een gemiddelde aanwezigheid van 36% respectievelijk 4%.

Voor de houders op het voorterrein (d.i. TP 5, TP 7, TP 8, TP 16, TP 17, TP 18, TP 19) wordt aangenomen dat ze even frequent in gebruik zijn voor de opslag van minerale oliën als voor de opslag van stoffen uit de bulkchemie. Het gebruik van de opslagtanks op het voorterrein voor stoffen met een beperkte toxische impact op de omgeving is relatief beperkt en wordt ingeschat op gemiddeld 13% voor de ringmanteltanks en op 11% voor de overige houders.

De opslaghouders op het chemiegedeelte worden uitsluitend ingezet voor stoffen uit de sector van de fijnchemie.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken. De gebruikpercentages zijn gebaseerd op bovenstaande verdeling. Bijvoorbeeld TP 5 wordt even frequent gebruikt voor de opslag van minerale oliën als voor de opslag van stoffen uit de bulkchemie. De representatieve stof voor de opslag van minerale oliën is gascondensaat (isopentaan). Deze is enkel ontvlambaar, wat maakt dat TP 5 gedurende 50% van de tijd verwacht wordt geen acuut toxische vloeistoffen te bevatten. Voor de opslag van stoffen uit de bulkchemie zijn de representatieve stoffen methanol (voor de effecten van brand) en benzeen (voor de effecten van toxiciteit).

TP	volume [m ³]	representatieve stoffen		
			brand	toxiciteit
1	16.500	fijnchemie	50% isopropylamine + 50% methanol	50% aniline ⁽¹⁾
2	19.750			
3	7.000			
4	6.000			
5	160.000	50% bulkchemie + 50% minerale oliën	50% methanol (bulkchemie) + 50% gascondensaat (minerale oliën)	50% benzeen (bulkchemie)
6	10.000	fijnchemie	50% isopropylamine + 50% methanol	4% methacrylonitril + 36% aniline ⁽¹⁾
7	105.000	50% bulkchemie + 50% minerale oliën	50% methanol (bulkchemie) + 50% gascondensaat (minerale oliën)	50% benzeen (bulkchemie)
8	80.000			
9	33.500	fijnchemie	50% isopropylamine + 50% methanol	50% aniline ⁽¹⁾
10	16.000			
11	9.000			
12	11.500			
13	6.000			
14	22.500	fijnchemie		

TP	volume [m ³]	representatieve stoffen		
			brand	toxiciteit
15	27.500		50% isopropylamine + 50% methanol	4% methacrylonitril + 36% acrylonitril + 50% aniline ⁽¹⁾
16	313.600	50% bulkchemie + 50% minerale oliën	50% methanol (bulkchemie) + 50% gascondensaat (minerale oliën)	50% benzeen (bulkchemie)
17	192.200			
18	166.550			
19	93.000			
20	27.450	fijnchemie	50% isopropylamine + 50% methanol	4% methacrylonitril + 36% acrylonitril + 50% aniline ⁽¹⁾
21	27.450			
22	27.450			
23	10.000	fijnchemie	50% isopropylamine + 50% methanol	50% aniline ⁽¹⁾

⁽¹⁾ voor aniline worden geen externe effecten gevonden

Tabel 2.1.1.1.3 Overzicht atmosferische tanks OTSA (OVR/11/07)

In de QRA wordt voor de opslag van ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks uitgegaan van 344.209 ton **isopentaan**, 95.772 ton **isopropylamine** en 548.240 ton **methanol**⁴ en voor deze van toxische vloeistoffen wordt uitgegaan van 4.555 ton **methacrylonitril**, 40.997 ton **acrylonitril** en een niet-relevante⁵ hoeveelheid **aniline**.

De omgevingsvergunning vermeldt volgende bijzondere voorwaarde: “[...] de totale opslag van (zeer) toxische stoffen zoals acrylonitril en methacrylonitril is beperkt tot 56.500 ton/m³ (waarvan maximaal 12.250 ton/m³ zeer toxisch) en [deze stoffen] mogen enkel opgeslagen worden in de tankenparken 6-14-15-20-21-22.”

2.1.1.2 OVR/12/04 Antwerp Distribution & Product Operations (ADPO)

In het meest recente OVR van ADPO (Antwerp Distribution & Product Operations) wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van 286.125 m³ in atmosferische tanks. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 25.000 ton (niet met naam genoemde) (zeer) toxische vloeistoffen, waarvan maximaal 3.000 ton zeer toxische vloeistoffen, 100.000 ton ontvlambare vloeistoffen en 95.000 (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen.

⁴ De som van de volumes overeenkomend met deze massa's is gelijk aan het totaal aanwezige opslagvolume in de atmosferische tanks.

⁵ Er zijn geen externe effecten verbonden aan de opslag van aniline in de atmosferische tanks. Het externe mensrisico is bijgevolg niet afhankelijk van de aanwezige hoeveelheid aniline.

Seveso-tabel Categorie	QRA (niet overgenomen uit OVR)				
	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
1. Zeer toxisch		3.000	allylalcohol	3.225	2.748
2. Toxisch		25.000	TDI	14.495	17.756
			niet-inhalatoir toxisch	niet relevant	
6. Ontvlambaar		100.000	vinylacetaat	286.125	266.096
7a. Licht ontvlambaar		5.000			
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen		95.000			
8. Zeer licht ontvlambaar		95.000			
methanol		10.000			
TDI		17.000			
aardolieproducten		25.000			

Opmerkingen:

- (1) De aanwezigheid van toxische en zeer toxische stoffen (exclusief de met name genoemde stoffen) is maximaal 25.000 ton.
- (2) De som van de categorie "Licht ontvlambare stoffen", de categorie "Licht ontvlambare vloeistoffen" en de categorie "Zeer licht ontvlambare stoffen" zal de maximale hoeveelheid van 100.000 ton niet overschrijden.

Tabel 2.1.1.2.1 Seveso-tabel ADPO (OVR/12/04)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

groep	brand	toxiciteit
ontvlambare vloeistoffen (P1 – P4)	vinylacetaat	-
(zeer) toxische vloeistoffen	-	allylalcohol
	-	TDI

Tabel 2.1.1.2.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen ADPO (OVR/12/04)

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Gezien het veelvoud aan installaties wordt er voor geopteerd om de berekeningen van de effecten van calamiteiten in tanken met brandbare stoffen uit te voeren op basis van één representatieve stof, eerder dan een representatieve stof te kiezen voor iedere categorie (P1, P2, P3, P4-stoffen). Als representatieve stof wordt gekozen voor vinylacetaat (P1-stof) omwille van de hoge dampspanning, het brede explosiebereik en de hoge aanwezigheid van het product op de site. Voor de eenvoud van modellering worden alle tanks doorgerekend met deze stof (dit is dus meer dan hetgeen in werkelijkheid kan/zal opgeslagen worden).

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – Op basis van de stocklijsten wordt nagegaan welke toxische vloeistoffen er de laatste 3 jaar opgeslagen werden om hieruit een representatieve stof te kiezen. De toxische stoffen die de laatste 3 jaar op ADPO aanwezig waren, zijn de volgende: aniline, adiponitrile, TDI, allylalcohol, methanol, n-octylamine, fenolaatloog, 2-hydroxyethyl-acrylaat, natriumdichromaat en

Hitec. Deze stoffen worden eveneens als representatief beschouwd voor de opslag voor de komende jaren.

Voor de keuze van een representatieve stof wordt geen onderscheid gemaakt tussen zeer toxische en toxische vloeistoffen. Om de verschillende stoffen te vergelijken wordt een effectberekening met een referentiescenario uitgevoerd. Het referentiescenario is het catastrofaal falen van een tank van 5.000 m³ (grootste tank aanwezig op het terrein van ADPO) in een inkuiping van 3.591m² (grootste netto inkuiping aanwezig op het terrein van ADPO). Als representatieve stof voor een bepaalde categorie (combinatie van dampspanning en toxiciteit) wordt die stof gekozen die de grootste effecten geeft.

In de onderstaande tabel worden de effectafstanden weergegeven voor de producten aniline, adiponitrile, TDI, allyl alcohol en methanol. De andere toxische stoffen (n-octylamine, 2-hydroxyethylacrylaat, natriumdichromaat, fenolaatloog en Hitec) kunnen beschouwd worden als eerder exotische producten: deze worden gemiddeld gezien minder verhandeld en bovendien zijn de gegevens over deze stoffen minder bekend. Deze stoffen kunnen ook telkens aanzien worden als een minder conservatieve variant van de weerhouden stoffen door een lagere dampspanning en/of toxiciteit. Derhalve worden voor deze stoffen geen effectafstanden gerapporteerd.

product	fractie in opslag ('08 – '10)	max. effectafstand (1% letaliteit) (m)		dampspanning (mbar)	LC50, rat (mg/l/4u)
		F 1,5 m/s	D 5,0 m/s		
allyl alcohol	10,9%	575	100	22,61	0,4
TDI	- *	25	75	< 1	356
adiponitrile	12,7%	25	75	0,003	2
aniline	35,0%	25	75	< 1	0,68
fenolaatloog	2,0%	geen 1% letaliteit bepaald		n.b.	316
methanol	- *			128	85
Hitec 3062	7,1%			< 1	0,247 ppm/1u
natriumdichromaat	20,6%			20	n.b.
n-octylamine	10,4%			1	1,6
2-hydroxyethylacrylaat	1,3%			n.b.	n.b.

* fractie in opslag is bepaald voor de niet met naam genoemde toxische producten

Tabel 2.1.1.2.3 Overzicht van de effectafstanden van de toxische producten opgeslagen bij ADPO (OVR/12/04)

Op basis van de effectberekening worden 2 representatieve stoffen gekozen: allyl alcohol en TDI (TDI wordt geselecteerd omdat het sowieso al wordt doorerekend als met naam genoemde stof en de effecten vergelijkbaar zijn met aniline en adiponitrile).

De lijst met toxische (vloei)stoffen wordt opgedeeld in 3 categorieën:

1. groep allylalcohol (T1): als meest conservatieve stof die stoffen vertegenwoordigt met vergelijkbare toxiciteit (volgens de bovenstaande tabel: allylalcohol). De groep omvat ongeveer 11% van de capaciteit van de niet met naam genoemde (zeer) toxische vloeistoffen, met name 2.720 ton. De groep van allylalcohol (T1) kan worden opgeslagen in alle tankenparken, uitgezonderd 16A, 18B, 19B, 20B, 21B, 22A en 22B. De opslagcapaciteit voor groep T1 bedraagt 201.595 m³, rekening houdend met een dichtheid van allylalcohol (852 kg/m³) stemt dit overeen met 171.759 ton. Op basis van deze gegevens wordt er voor de risicoberekening van uitgegaan dat gedurende maximaal 1,6% (afgerond cijfer) van de tijd de vermelde opslagtanks gevuld zullen zijn met een product uit de groep van allylalcohol.
2. groep TDI (T2): als representatieve stof voor producten met een toxiciteit gelijkaardig aan TDI of kleiner (op basis van 1% letaliteit) (volgens de bovenstaande tabel: aniline, adiponitrile, fenolaatloog). De groep omvat ongeveer 50% van de capaciteit van de niet met naam genoemde (zeer) toxische producten, met name 12.425 ton en omvat tevens 17.000 ton (met naam genoemd) TDI (totaal van 29.425 ton voor de groep TDI). De groep van TDI (T2) kan worden opgeslagen in alle tankenparken, uitgezonderd 16A. De opslagcapaciteit voor groep T2 bedraagt 283.725 m³, rekening houdend met een dichtheid van TDI (1.225 kg/m³) stemt dit overeen met 347.563 ton. Op basis van deze gegevens wordt er voor de risicoanalyse van uitgegaan dat gedurende ongeveer 10% (afgerond cijfer) van de tijd de vermelde opslagtanks gevuld zullen zijn met een product uit de groep van TDI.
3. groep niet-inhalatoire toxische producten (in vloeibare/opgeloste vorm): deze groep heeft geen relevante impact op de externe veiligheid en wordt niet meegenomen in de berekeningen. Voor stoffen met een dermale toxiciteit kan worden gesteld dat geen effecten verwacht worden daar mensen geen rechtstreeks contact hebben met de toxische stof (kleding). Voor wat betreft de stoffen die toxisch zijn via orale weg, is er geen reden om aan te nemen dat de vrijstelling in de lucht aanleiding kan geven tot een significante opname via mond en maag. Volgens de bovenstaande tabel omvat deze groep n-octylamine, 2-hydroxyethylacrylaat, natriumdichromaat en Hitec. De groep omvat ongeveer 39% van de capaciteit van de niet met naam genoemde (zeer) toxische stoffen, met name 9.854 ton. Zoals hoger aangegeven veroorzaakt een vrijzetting van methanol geen 1% letaliteit en dient deze stof dus niet verder te worden weerhouden voor de risicoberekeningen.”

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

TP	volume [m ³]	Representatieve stoffen	
		brand	toxiciteit
1	2.435	P1, T/T+ en O	100% vinylacetaat 1,6% allylalcohol + 10% TDI
2	2.400	P1, T/T+ en O	
3	2.400	P1, T/T+ en O	
4	2.700	P1, T/T+ en O	
5	6.240	P1, T/T+ en O	

TP	volume [m ³]		Representatieve stoffen	
			brand	toxiciteit
6	9.400	P1, T/T+ en O		
7	6.348	P1, T/T+ en O		
8	2.770	P1, T/T+ en O		
9	6.348	P1, T/T+ en O		
10	5.350	P1, T/T+ en O		
11	3.466	P1, T/T+ en O		
12	5.350	P1, T/T+ en O		
14	4.294	P1, T/T+ en O		
15	5.604	P1, T/T+ en O		
15B	7.500	P1 en T/T+		
15C	7.500	P1 en T/T+		
15D	15.000	P1 en T/T+		
16	19.090	P1, T/T+ en O		
16A	2.400	P1	100% vinylacetaat	-
17A	8.750	P1 en T/T+		
17B	7.680	P1, T/T+ en O	100% vinylacetaat	1,6% allylalcohol + 10% TDI
17C	15.000	P1, T/T+ en O		
18A	14.430	P1, T/T+ en O		
18B	8.750	P1 en T/T+	100% vinylacetaat	10% TDI
19A	10.750	P1, T/T+ en O	100% vinylacetaat	1,6% allylalcohol + 10% TDI
19B	8.750	P1 en T/T+	100% vinylacetaat	10% TDI
20A	14.430	P1, T/T+ en O	100% vinylacetaat	1,6% allylalcohol + 10% TDI
20B	12.500	P1 en T/T+	100% vinylacetaat	10% TDI
21A	16.360	P1, T/T+ en O	100% vinylacetaat	1,6% allylalcohol + 10% TDI
21B	15.000	P1 en T/T+		
22A	19.630	P1 en T/T+	100% vinylacetaat	10% TDI
22B	17.500	P1 en T/T+		

Tabel 2.1.1.2.4 Overzicht atmosferische opslagtanks ADPO (OVR/12/04)

In de QRA wordt voor de opslag van (zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks uitgegaan van 266.096 ton **vinylacetaat** en voor deze van toxische vloeistoffen wordt uitgegaan van

2.748 ton allylcohol, 17.756 ton TDI en een niet-relevante⁶ hoeveelheid niet-inhalatoire toxische producten.

2.1.1.3 OVR/12/13 Vopak Terminal Linkeroever (VTL)

In het meest recente OVR van VTL (Vopak Terminal Linkeroever) wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van 325.000 m³ in atmosferische tanks⁷. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 60.000 ton (niet met naam genoemde) toxische vloeistoffen, 220.000 ton ontvlambare vloeistoffen, 180.000 ton licht ontvlambare en 22.000 ton zeer licht ontvlambare vloeistoffen.

Seveso-tabel Categorie	QRA (niet overgenomen uit OVR)				
	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
1. Zeer toxisch					
2. Toxisch		60.000	allylcohol	60.000	51.240
6. Ontvlambaar		220.000	isopreen (enkel plasbrand)	35.000	23.835
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen		180.000	n-hexaan	268.000	175.486
8. Zeer licht ontvlambaar		22.000	isopreen	22.000	14.982
aardolieproducten		170.000			
TDI		25.000			
methanol		110.000			

Opmerkingen:

- (1) De maximale hoeveelheid aan P1- en/of P2-producten bedraagt 220.000 ton, waarbij het al dan niet aardolieproducten kan betreffen; voor de P1-producten geldt max. 180.000 ton.
- (2) De totale capaciteit aan licht ontvlambare vloeistoffen (met inbegrip van het met naam genoemde methanol) bedraagt 268.000 ton.

Tabel 2.1.1.3.1 Seveso-tabel VTL (OVR/12/13)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

⁶ Er zijn geen externe effecten verbonden aan de opslag van deze niet-inhalatoire toxische producten in de atmosferische tanks. Het externe mensrisico is bijgevolg niet afhankelijk van de aanwezige hoeveelheid van deze producten.

⁷ In het OVR worden twee alternatieven uitgewerkt. De hier gegeven waardes hebben betrekking op alternatief A.

groep	brand	toxiciteit
zeer licht ontvlambare vloeistoffen	isopreen	-
licht ontvlambare vloeistoffen (incl. methanol)	n-hexaan	-
ontvlambare vloeistoffen	isopreen (enkel plasbrandeffecten)	-
(zeer) toxische vloeistoffen	-	allylalcohol

Tabel 2.1.1.3.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen VTL (OVR/12/13)

De keuze van de representatieve stoffen is gebaseerd op de niet-limitatieve lijst van in opslag zijnde gevaarlijke stoffen en is zodanig dat voor deze stoffen de grootste effecten in de omgeving te verwachten zijn. Op die manier wordt ten aanzien van het extern risico een kader verkregen zodat op- en overslag van andere, minder gevaarlijke, stoffen zonder meer een lager extern risico impliceert.

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Voor wat de ontvlambaarheid van de vloeistoffen betreft worden de zgn. P1-producten beschouwd waarbij er een onderscheid is tussen de zeer licht ontvlambare en de licht ontvlambare. De licht ontvlambare vloeistoffen worden ook als representatief aanzien voor de ontvlambare (P2-producten) wat uiteraard een conservatieve veronderstelling is.

Bij de zeer licht ontvlambare producten gaat het om isopreen, n-pentaan en benzine. Uit de dampspanning, de onderste explosiegrens en de grootte van het explosiebereik volgt dat isopreen als representatieve stof te aanzien is.

Stofnaam	Dampspanning bij opslagtemperatuur [mbar]	Onderste explosiegrens [vol%]	Grootte explosiebereik [vol%]
isopreen	605 (20°C)	1,0	8,7
n-pentaan	563 (20°C)	1,4	6,4
benzine	600 (20°C)	1,3	6,3

Tabel 2.1.1.3.3 Stofeigenschappen zeer licht ontvlambare vloeistoffen (OVR/12/13)

De keuze van een representatieve stof voor de licht ontvlambare vloeistoffen is gebaseerd op enerzijds de onderste explosiegrens en anderzijds de hoeveelheid product die in de dampfase komt, wat voornamelijk bepaald wordt door de dampspanning van het product bij de opslagtemperatuur. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de eigenschappen inzake brandbaarheid en dampspanning van de voor het externe risico meest relevante in de niet-limitatieve lijst opgenomen licht ontvlambare vloeistoffen.

Aan de hand hiervan en tevens rekening houdend met de verbrandingswarmte (aceton en tetrahydrofuraan hebben een verbrandingswarmte die significant lager is dan n-hexaan) en de grootte van het explosiebereik (1-hexaan heeft een kleiner explosiebereik dan n-hexaan), wordt gevonden dat n-hexaan het product is waarvoor de grootste damphoeveelheden in een brandbare



wolk terechtkomen bij verdamping uit een plas. Tegelijkertijd heeft dit product een relatief lage onderste explosiegrens.

Vermeld wordt dat MTBE een vrij hoge dampspanning heeft en derhalve niet als representatief wordt aanzien voor de typische licht ontvlambare stoffen. Dit betekent dat de opslag van MTBE gebeurt binnen de voorziene maximale hoeveelheden van de zeer licht ontvlambare stoffen omdat het weerhouden isopreen (zie hoger) hiervoor uiteraard wel representatief is.

Stofnaam	Dampspanning bij opslag-temperatuur [mbar]	Onderste explosiegrens [vol%]
aceton	244 (20°C)	2,6
1-hexeen	200 (20°C)	1,2
tetrahydrofuraan	175 (20°C)	1,8
n-hexaan	163 (20°C)	1,1
methanol	128 (20°C)	5,5
vinylacetaat	119 (20°C)	2,6
cyclohexaan	104 (20°C)	1,3
methylethylketon	103 (20°C)	1,8
benzeen	100 (20°C)	1,2
ethylacetaat	97 (20°C)	2,0
triethylamine	70 (20°C)	1,2
isopropylacetaat	63 (20°C)	1,8
ethanol	59 (20°C)	3,3
isopropanol	44 (20°C)	2,0

Tabel 2.1.1.3.4 Stofeigenschappen licht ontvlambare vloeistoffen (OVR/12/13)

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – De keuze van een representatieve stof is gebaseerd op enerzijds de toxiciteit voor inademing en anderzijds de hoeveelheid product die in de dampfase komt, wat voornamelijk bepaald wordt door de dampspanning van het product bij de opslagtemperatuur. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de eigenschappen inzake toxiciteit en dampspanning van de in de niet-limitatieve lijst opgenomen toxische vloeistoffen. Bijkomend is het quotiënt opgenomen van de dampspanning van het product (uitgedrukt in Pa) en de LC_{01,30} (in mg/m³) wat een maat is voor de omvang van mogelijke effecten door blootstelling aan dampen bij verdamping uit een vloeistofplas. Dit quotiënt wordt index genoemd.

Stofnaam	Dampspanning bij opslag-temperatuur [mbar]	LC _{01,30} [mg/m ³]	index
allylalcohol	25,3 (20°C)	241	10,5
tetrachloormethaan	122 (20°C)	8133	1,5
epichloorhydrine	17,2 (20°C)	1690	1,0

Stofnaam	Dampspanning bij opslag-temperatuur [mbar]	LC _{01,30} [mg/m ³]	index
benzeen	100 (20°C)	13300	0,75
fenol	7,0 (60°C)	1389	0,5
TDI	0,054 (35°C)	84	< 0,1
furfural	1,4 (20°C)	3276	< 0,1
dimethylaniline	0,66 (20°C)	1126	< 0,1
o-cresol	0,32 (20°C)	1610	< 0,1

(*) methanol werd hier niet weerhouden omdat het binnen de toxische stoffen zonder meer niet als relevant is te aanzien voor blootstelling door inademing

Tabel 2.1.1.3.5 Stofeigenschappen toxische vloeistoffen (OVR/12/13)

Op basis van bovenstaande tabel vindt men dat allylalcohol de als meest relevant te aanzien toxische stof is naar inademing toe. Deze wordt verder als representatieve stof weerhouden. Voor de als zeer toxisch ingedeelde stoffen betreft het hier uitsluitend TDI dat een vrij lage relevante toxische concentratie heeft en waarvoor een controleberekening wordt uitgevoerd.

Voor het scenario van een vrijzetting van product ter hoogte van de steiger waarbij de toxische vloeistof in het water terechtkomt, zijn ook de fysische eigenschappen van het product ten aanzien van water belangrijk:

- ❑ Allylalcohol zal volledig, en fenol, furfural en o-cresol zullen grotendeels, in het water oplossen. Door de ruime hoeveelheid water in het dok is met een belangrijke verdunning rekening te houden waardoor de partiële druk van de opgeloste stoffen enkele grootteordes lager zal zijn dan deze van de zuivere stof.
- ❑ Epichloorhydrine, TDI en tetrachloormethaan zijn stoffen die niet oplosbaar zijn in water en niet reageren met water, en tevens een grotere dichtheid hebben dan water zodat ze zinken.

Voor het scenario waarbij het product in het water terechtkomt, zijn deze toxische stoffen derhalve niet representatief naar inademing toe. Voor de effecten van een plas op het water is conservatief uitgegaan van allylalcohol, waarbij aangenomen wordt dat er hiervan een plas op het water wordt gevormd (dus zonder rekening te houden met het werkelijke gedrag van dit product met water).

Voor wat de externe risicoanalyse betreft wordt de gewenste vergunningstoestand beschouwd, wat impliceert dat voor elke tank rekening gehouden wordt met de voor die tank meest gevaarlijke stof. Uiteraard kunnen er steeds minder gevaarlijke producten in opslag zijn of zelfs niet als gevaarlijk ingedeelde producten.

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

In de QRA wordt voor de opslag van ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks uitgegaan van 14.982 ton **isopreen**, 175.486 ton **n-hexaan** en 23.835 ton isopreen (enkel plasbrandeffecten) en voor deze van toxische vloeistoffen wordt uitgegaan van 51.240 ton **allylalcohol**.

TP	volume [m ³]	P1/P2 en T/T+	Representatieve stoffen	
			brand	toxiciteit
100	35.000	P1/P2 en T/T+	6,77% isopreen + 82,46% n-hexaan + 10,77 % isopreen (enkel plasbrandeffecten)	18,5 % allylalcohol
150	30.000	P1/P2 en T/T+		
200	35.000	P1/P2 en T/T+		
250	40.000	P1/P2 en T/T+		
700	70.000	P1/P2 en T/T+		
750	115.000	P1/P2 en T/T+		

Tabel 2.1.1.3.6 Overzicht atmosferische opslagtanks VTL (OVR/12/13)

2.1.1.4 OVR/12/17 Antwerp Terminal & Processing Company (ATPC)

In het meest recente OVR van ATPC (Antwerp Terminal & Processing Company) wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor P1/P2 vloeistoffen van 385.900 m³ in atmosferische tanks. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 55.006 ton (niet met naam genoemde) toxische vloeistoffen en 55.002 ton licht ontvlambare vloeistoffen, en van 610.901 ton aardolieproducten

Seveso-tabel	QRA (niet overgenomen uit OVR)					
	Categorie	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
1. Zeer toxisch			0			
2. Toxisch			55.006	benzeen	55.000	48.208
6. Ontvlambaar			-			
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen			55.002	benzeen	55.000	48.208
8. Zeer licht ontvlambaar			-			
aardolieproducten			610.901	n-hexaan	42.400	23.049
				isopreen	288.500	196.469

Tabel 2.1.1.4.1 Seveso-tabel ATPC (OVR/12/17)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

groep	brand	toxiciteit
nafta (P1)	isopreen	-
	n-hexaan	-
benzeen, toluen, aardolieproducten	benzeen	benzeen

Tabel 2.1.1.4.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen ATPC (OVR/12/17)

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Voor de effecten verbonden aan de brandbaarheid/ontvlambaarheid van de P-producten wordt uitgegaan van de stoffen met het laagste vlammpunt die in de betrokken opslagtank aanwezig kunnen zijn. De effecten van een plasbrand voor een P1-stof zijn ook geldig voor producten met hoger vlammpunt. Effecten van een explosie worden enkel in beschouwing genomen voor P1-producten. Voor een plas van P2-producten zal de omgevingstemperatuur lager liggen dan het vlammpunt zodat geen belangrijke hoeveelheid dampen is te verwachten. Voorts is in het HBFF (2009) de kans op vertraagde ontsteking gelijk aan nul.

In de vergunde situatie is n-hexaan representatief voor de P1-producten waarbij, zoals hoger aangegeven, de effecten van warmtestraling ook weerhouden worden voor de producten met een hoger vlammpunt. Voor wat de geplande situatie betreft voor TP600 is isopreen representatief voor de P1-producten. De opslag van P1-producten in TP600 houdt verband met op- en overslag van producten, terwijl de opslag van P1-producten in de andere tankenparken verband houdt met de activiteiten van APC. Deze laatste betreffen P1-producten met een lagere dampspanning, waarvoor dan ook een representatieve stof weerhouden wordt met een lagere dampspanning. Voor de opslag van benzeen en toluen in TP900 wordt wat betreft brandbaarheid uitgegaan van benzeen, omdat dit product de hoogste dampspanning heeft.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – Benzeen is de enige toxische vloeistof die mogelijk opgeslagen wordt. Bijgevolg stelt de vraag naar een representatieve stof zich hier niet.

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

TP	volume [m ³]	Representatieve stoffen		
		brand	toxiciteit	
200 (295 – 299)	34.400	nafta (P1)	n-hexaan	-
400 (400 – 403)	8.000	nafta (P1)	n-hexaan	-
600 (600 – 613)	288.500	nafta (P1)	isopreen	-
900 (901 – 911)	55.000	benzeen, toluen, aardolieproducten	benzeen	benzeen

Tabel 2.1.1.4.3 Overzicht atmosferische opslagtanks ATPC (OVR/12/17)

In de QRA wordt voor de opslag van P1-producten in atmosferische tanks uitgegaan van 23.049 ton n-hexaan, 196.469 ton isopreen en 48.208 ton benzeen.

2.1.1.5 OVR/13/38 ADPO Liefkenshoek

In het meest recente OVR van ADPO Liefkenshoek wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van 75.000 m³ in atmosferische tanks⁸. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 3.000 ton (niet met naam genoemde) zeer toxische vloeistoffen, 15.000 ton toxische vloeistoffen, 49.000 ton (licht) ontvlambare vloeistoffen en 20.000 ton zeer licht ontvlambare vloeistoffen.

Seveso-tabel Categorie	QRA (niet overgenomen uit OVR)		Representatief product	QRA (niet overgenomen uit OVR)	
	m ³	ton		m ³	ton
1. Zeer toxisch		3.000	allylalcohol	10.000	8.540
2. Toxisch		15.000	methanol	niet relevant	
			crotonaldehyde (zie § 2.1.4.3)		
6. Ontvlambaar		49.000	n-pentaaan	75.000	46.950
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen		49.000			
8. Zeer licht ontvlambaar		20.000			
methanol		5.000			
TDI		10.000			
aardolieproducten		25.000			

Tabel 2.1.1.5.1 Seveso-tabel ADPO Liefkenshoek (OVR/13/38)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

groep	brand	toxiciteit
(zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen	n-pentaaan	-
(zeer) toxische vloeistoffen	-	allylalcohol
		methanol

Tabel 2.1.1.5.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen ADPO Liefkenshoek (OVR/13/38)

Op basis van de QRA wordt besloten, deelinkuipingen (per 4 tanks) te voorzien in tankenparken waar P1/P2 en/of inhalatoir toxische producten worden opgeslagen.

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – In de QRA wordt voor de opslag in atmosferische tanks uitgegaan van n-pentaaan (zeer licht ontvlambare vloeistof). “Verdamping van een plas van 1300 m² [grootste netto-oppervlakte van een (deel)inkuiping] geeft geen aanleiding tot de vorming van brandbare

⁸ In het OVR worden drie alternatieven uitgewerkt. De hier gegeven waardes hebben betrekking op alternatief ‘1250 m³’.

wolken in de omgeving van ADPO. Bijgevolg wordt het scenario wolkbrand en gaswolkexplosie niet verder weerhouden in de risicoberekeningen [van de atmosferische opslagtanks].”

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – Voor de inhalatoir (zeer) toxische vloeistoffen worden de effectberekeningen uitgevoerd voor de met naam genoemde TDI en methanol en de representatieve stoffen allylalcohol [en crotonaldehyde⁹]. Deze laatste producten zijn op basis van de ervaringsgegevens van ADPO gekozen alsook op basis van de QRA. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen toxische en zeer toxische vloeistoffen.

Met betrekking tot TDI/methanol wordt voor de grootste plasoppervlakte (1300 m²) met behulp van EFFECTS geen letale dosis buiten het terrein van ADPO berekend. Bijgevolg wordt de opslag van TDI/methanol in atmosferische tanks niet weerhouden voor de verdere risicoberekeningen. Alle inhalatoir (zeer) toxische vloeistoffen met kleinere (of gelijke) effecten dan deze stoffen kunnen bijgevolg in alle opslagtanks opgeslagen worden.

Teneinde de (relatieve) effecten van andere inhalatoir (zeer) toxische vloeistoffen in te schatten en ADPO in staat te stellen een acceptatieprocedure te hanteren die rekening houdt met de aannames in het OVR, is voor de representatieve stoffen een index (grenswaarde berekend). Deze index is afhankelijk van de molaire massa, de dampspanning en de toxiciteit. Meer bepaald wordt het quotiënt van (i) het product van de dampspanning bij 20°C in Pa en de molaire massa in g/mol en (ii) de LC_{01,30} in mg/m³ als index gebruikt. Voor de representatieve stoffen uit het OVR geeft dit de indices uit onderstaande tabel.

Stofnaam	Dampspanning bij 20°C [Pa]	Molaire massa [g/mol]	LC _{01,30} [mg/m ³]	Index
methanol	12883	32	18852	21,9
TDI	1,4	174,16	84,19	2,90
allylalcohol	2471	58,08	240,7	596
crotonaldehyde	3588	70,09	126,03	1995

Tabel 2.1.1.5.3 Stofeigenschappen plasverdamping toxische vloeistoffen

In concreet betekent dit dat een index voor inhalatoir toxische stoffen dient opgenomen te worden in het acceptatiebeleid en dit afhankelijk van de opslagactiviteit. Op basis van de QRA werden randvoorwaarden ontwikkeld. Zo kunnen alle tanks stoffen bevatten met een index gelijk aan deze voor methanol of lager. De voorste deelinkuipingen van TP2 en TP5 kunnen inhalatoir toxische vloeistoffen bevatten met een index gelijk aan deze voor allylalcohol of lager.

In de QRA worden voor de opslag van inhalatoir toxische vloeistoffen in atmosferische tanks effectberekeningen uitgevoerd met allylalcohol als representatieve stof. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de deelinkuipingen van TP2 en TP5 die zich het dichtst tegen de magazijnen

⁹ De representatieve stof crotonaldehyde wordt niet gebruikt voor de opslag in atmosferische tanks, maar voor de opslag in ISO-tankcontainers (zie § 2.1.4.3).

bevinden. Deze deelinkuipingen kunnen vloeistoffen bevatten met een index gelijk aan deze voor allylalcohol of lager.

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

In de QRA wordt voor de opslag van ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks uitgegaan van 46.950 ton **n-pentaa**n en voor deze van toxische vloeistoffen wordt uitgegaan van 8.540 ton **allyl**alcohol en 51.467 ton **methanol**.

TP	volume [m ³]	Representatieve stoffen		
		brand	toxiciteit	
1	16.250	P1/P2 en T/T+	100% n-pentaa (plasbrand ⁽¹⁾)	100% methanol ⁽²⁾
2	16.250	P1/P2 en T/T+		30,8% allylalcohol + 69,2% methanol ⁽²⁾
3	10.000	P1/P2 en T/T+		100% methanol ⁽²⁾
4	16.250	P1/P2 en T/T+		100% methanol ⁽²⁾
5	16.250	P1/P2 en T/T+		30,8% allylalcohol + 69,2% methanol ⁽²⁾

⁽¹⁾ In principe worden voor n-pentaa ook berekeningen uitgevoerd voor wolkbranden en gaswolkexplosies. Doordat voor deze scenario's geen letale effecten gevonden worden buiten de terreingrens, is n-pentaa de representatieve stof voor het scenario van een plasbrand.

⁽²⁾ Voor methanol worden geen externe effecten gevonden.

Tabel 2.1.1.5.4 Overzicht atmosferische opslagtanks ADPO Liefkenshoek (OVR/13/38)

2.1.1.6 OVR/13/41 Noord Natie Terminals

In het meest recente OVR van Noord Natie Terminals wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van ca. 450.000 m³ in atmosferische tanks. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 25.200 ton (niet met naam genoemde) zeer toxische vloeistoffen (waarvan maximaal 24.000 ton TDI betreft) 60.000 ton toxische vloeistoffen (waarvan maximaal 32.000 ton methanol betreft) en 240.000 ton (zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen (waarvan maximaal 10.900 ton zeer licht ontvlambare vloeistoffen betreft). Rekening houdend met de maximale dichtheid waarvoor de opslaghouders zijn of worden ontworpen nl. 1.200 kg/m³, bedraagt de maximale hoeveelheid aan (zeer) toxische vloeistoffen, uitgedrukt in volume, 71.000 m³.

Seveso-tabel	QRA (niet overgenomen uit OVR)				
	Categorie	m ³	ton	Representatief product	m ³
1. Zeer toxisch	21.000	25.200	acrylonitril	10.000	8.100
2. Toxisch	50.000	60.000	epichloorhydrine	61.000	71.980
6. Ontvlambaar		240.000			

Seveso-tabel		QRA (niet overgenomen uit OVR)			
Categorie	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen		240.000	n-hexaan	204.689	134.030
8. Zeer licht ontvlambaar		10.900	isopentaaan	10.900	6.714
methanol		32.000			
TDI		24.000			
aardolieproducten		200.000	diesel	227.462	184.244

Tabel 2.1.1.6.1 Seveso-tabel Noord Natie Terminals (OVR/13/41)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

groep	brand	toxiciteit
zeer licht ontvlambare vloeistoffen	isopentaaan	-
(licht) ontvlambare vloeistoffen	n-hexaan	-
P3/P4 aardolieproducten	diesel	-
(zeer) toxische vloeistoffen	-	acrylonitril
	-	epichloorhydrine

Tabel 2.1.1.6.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen Noord Natie Terminals (OVR/13/41)

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Op het vlak van ontvlambare vloeistoffen wordt er (in tabel 2.1.1.6.3) een onderscheid gemaakt tussen producten uit categorie 8 (zeer licht ontvlambaar), 6 en 7b ((licht) ontvlambaar) en producten met een hoger vlampunt (zgn. P3/P4-producten). Deze laatste betreffen aardolieproducten die niet worden ingedeeld in categorieën 6, 7b of 8.

In de risicoanalyse wordt voor het modelleren van de effecten van brand van een vloeistof uit categorie 8 gerekend met isopentaaan omwille van de hoge dampspanning en de relatief lage onderste explosiegrens van het product. Eenzelfde redenering wordt gehanteerd voor de keuze van een representatieve stof voor de vloeistoffen uit categorieën 6 en 7b, waarvoor n-hexaan wordt weerhouden. 1,3-Pentadien (een licht ontvlambare vloeistof) wordt omwille van zijn hoge dampspanning enkel opgeslagen in tankenparken waar producten uit categorie 8 kunnen worden opgeslagen. Bijgevolg wordt isopentaaan en niet n-hexaan als representatieve stof aanzien voor 1,3-pentadien. Voor de installaties waar (enkel) P3/P4 aardolieproducten aanwezig kunnen zijn, die typisch een lage dampspanning hebben, wordt voor het berekenen van de effecten van thermische straling gebruikgemaakt van de eigenschappen van diesel (overeenkomstig het gebruikte plasbrandmodel).

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – (Zeer) toxische vloeistoffen kunnen enkel aanwezig zijn in de tankenparken waar mogelijk (zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen worden opgeslagen (zie tabel 2.1.1.6.3). De impact van een acuut toxische vloeistof op de omgeving buiten de inrichting wordt in hoofdzaak

bepaald door de toxiciteit van het product en anderzijds door de maat waarmee het product verdampt bij de opslagtemperatuur. Op basis van de producten met acuut toxische eigenschappen die zijn opgenomen in de niet-limitatieve lijst wordt gelet op de LC_{01,30} en de dampspanning acrylonitril weerhouden voor het modelleren van toxische effecten. De hoeveelheid producten die een toxische impact hebben die vergelijkbaar is met acrylonitril zal in de realiteit kleiner zijn dan de hoeveelheden die door de inrichting worden aangevraagd voor producten uit categorieën 1 en 2. Meer bepaald wordt de maximale hoeveelheid aan producten met een toxische impact vergelijkbaar met acrylonitril beperkt tot 10.000 m³. Daarom worden ook effectberekeningen uitgevoerd voor producten met een beperktere toxische impact dan acrylonitril. Op basis van de niet-limitatieve lijst worden deze berekeningen uitgevoerd met epichloorhydrine.

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

In de QRA wordt voor de opslag van ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks uitgegaan van 6.714 ton **isopentaaan**, 134.030 ton **n-hexaan** en 184.244 ton **diesel**¹⁰ en voor deze van toxische vloeistoffen wordt uitgegaan van 8.100 ton **acrylonitril** en 71.980 ton **epichloorhydrine**.

TP	volume [m ³]	Representatieve stoffen		
		brand	toxiciteit	
A	12.890	P3/P4 (gasoliën)	-	
B	24.550	P3/P4 (gasoliën)		
C	38.400	P3/P4 (gasoliën)		
D	85.800	P3/P4 (gasoliën)		
E	11.300	P3/P4 (gasoliën)		
F	16.600	P3/P4 (gasoliën)		
G1	13.200	P3/P4 (gasoliën)		
G2	24.722	P3/P4 (gasoliën)		
H1	8.400	1, 2, 6, 7b en 8	9% isopentaaan + 91% n-hexaan	4,6% acrylonitril + 28,3% epichloorhydrine
H2	9.400	1, 2, 6, 7b en 8		
I1	5.400	1, 2, 6, 7b en 8		
I2	5.400	1, 2, 6, 7b en 8		
J1	4.720	2, 6 en 7b	100% n-hexaan	4,6% acrylonitril + 28,3% epichloorhydrine
J2	4.704	2, 6 en 7b		
K1	16.536	1, 2, 6 en 7b		
K2	16.536	1, 2, 6 en 7b		
L	25.785	1, 2, 6 en 7b		

¹⁰ De som van de volumes overeenkomend met deze massa's is gelijk aan het totaal aanwezige opslagvolume in de atmosferische tanks.

TP	volume [m ³]	Representatieve stoffen		
		brand	toxiciteit	
M	25.812	1, 2, 6 en 7b		
N	20.618	1, 2, 6, 7b en 8	9% isopentaaan + 91% n-hexaan	4,6% acrylonitril + 28,3% epichloorhydrine
O	12.940	1, 2, 6, 7b en 8		
P	12.940	1, 2, 6, 7b en 8		
Q1	20.618	1, 2, 6, 7b en 8		
Q2	25.780	1, 2, 6, 7b en 8		

Tabel 2.1.1.6.3 Overzicht atmosferische opslag tanks Noord Natie Terminals (OVR/13/41)

2.1.1.7 OVR/13/45 Sea Tank Terminal Antwerp

In het meest recente OVR van Sea Tank Terminal Antwerp wordt uitgegaan van een totale opslagcapaciteit voor gevaarlijke vloeistoffen van 845.800 m³ in atmosferische tanks. In de Seveso-tabel wordt uitgegaan van de mogelijke aanwezigheid van 100 ton (niet met naam genoemde) toxische vloeistoffen, 133.000 ton licht ontvlambare vloeistoffen en 845.800 ton aardolieproducten. De hoeveelheid aardolieproducten komt overeen met de totale opslagcapaciteit, waarbij uitgegaan is van een gemiddelde dichtheid van 1000 kg/m³. De hoeveelheid licht ontvlambare vloeistoffen betreft de aanwezigheid van ethanol, MTBE en ETBE in tankparken TP1300, TP1400 en TP1500.

Seveso-tabel	QRA (niet overgenomen uit OVR)					
	Categorie	m ³	ton	Representatief product	m ³	ton
6. Ontvlambaar						
7b. Licht ontvlambare vloeistoffen			133.000	n-hexaan		
8. Zeer licht ontvlambaar						
aardolieproducten			845.800	n-hexaan	293.950	
				n-decaan	548.300	

Tabel 2.1.1.7.1 Seveso-tabel Sea Tank Terminal Antwerp (OVR/13/45)

Een overzicht van de geselecteerde representatieve stoffen voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt gegeven in onderstaande tabel.

groep	brand	toxiciteit
licht ontvlambare vloeistoffen	n-hexaan	-
P3/P4 vloeistoffen	n-decaan	-

Tabel 2.1.1.7.2 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen Sea Tank Terminal Antwerp (OVR/13/45)

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Het product aanwezig in de installaties betreft in de meeste gevallen een mengsel van verschillende C-fracties. Als representatieve stof is de component gekozen die representatief is voor het mengsel (indeling, vlampunt, ...). Voor P1-producten (benzine, ethanol) is n-hexaan gekozen en voor P3/P4-producten (diesel, stookolie) n-decaan. De berekeningen zijn conservatief indien producten worden opgeslagen die een hogere P-klasse hebben dan deze beschouwd in de QRA.

OVERZICHT – De onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die gebruikt werden voor de verschillende tankenparken.

TP/T	volume [m ³]	Representatieve stoffen		
			brand	toxiciteit
1000	70.800	stookolie (P3)	n-decaan	-
1100	210.500	stookolie (P3)	n-decaan	-
1201	48.000	stookolie, diesel (P3)	n-decaan	-
1202	27.000	benzine (P1)	n-hexaan	-
1203	27.000	benzine (P1)	n-hexaan	-
1204	9.000	diesel (P3)	n-decaan	-
1205	1.000	diesel (P3)	n-decaan	-
1206	9.000	diesel (P3)	n-decaan	-
1300	28.950	biobrandstof (P1)	n-hexaan	-
1400	82.000	benzine (P1)	n-hexaan	-
1500	69.000	benzine, MTBE, ETBE (P1)	n-hexaan	-
1601	50.000	diesel (P3)	n-decaan	-
1602	50.000	diesel (P3)	n-decaan	-
1603	60.000	benzine (P1)	n-hexaan	-
1700	100.000	diesel (P3)	n-decaan	-

Tabel 2.1.1.7.3 Overzicht atmosferische opslagtanks Sea Tank Terminal Antwerp (OVR/13/45)

2.1.1.8 Bevindingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die in één of meerdere van de zeven bestudeerde OVR's gebruikt werden. Tussen haakjes wordt vermeld in hoeveel van de bestudeerde OVR's de stof gebruikt werd als representatieve stof.

Groep	Representatieve stof (#/7)
zeer licht ontvlambare vloeistoffen (P1)	isopentaaan (2), isopreen (1), isopropylamine (1), n-pentaaan (1), vinylacetaat (1)
licht ontvlambare vloeistoffen (P1)	methanol (1), n-hexaan (3), n-pentaaan (1), vinylacetaat (1)
ontvlambare vloeistoffen (P2)	methanol (1), n-hexaan (1), n-pentaaan (1), vinylacetaat (1)

Groep		Representatieve stof (#/7)
P3/P4 vloeistoffen		diesel (1), n-decaan (1)
(zeer) toxische vloeistoffen	grootste effect	acrylonitril (1), allylalcohol (2), methacrylonitril (1)
		acrylonitril (1), epichloorhydrine (1), TDI (1)
	verwaarloosbaar effect ⁽¹⁾	aniline (1), methanol (1), TDI (2)

⁽¹⁾ Voor deze stoffen worden geen externe effecten gevonden.

Tabel 2.1.1.8.1 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen voor de bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in atmosferische tanks

Uit de OVR's blijkt dat de bepaling van een representatieve stof voor de bulkopslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen gebaseerd wordt op één of meerdere van onderstaande stoffeigenschappen:

- de dampspanning (bij de opslagtemperatuur) of de vluchtigheid;
- de molaire massa;
- de onderste explosiegrens;
- de grootte van het explosiebereik;
- het vlampunt of de indeling van ontvlambare vloeistoffen in P1, P2 ...;
- de verbrandingswarmte;
- de toxiciteit (letale concentratie of dosis).

Daarnaast wordt soms ook rekening gehouden met de historische of de toekomstige (geplande) aanwezigheid van de stof.

Voor het bepalen van een representatieve stof voor (zeer) toxische vloeistoffen wordt o.a. gebruikgemaakt van volgende indices:

- het quotiënt van de dampspanning en de $LC_{01,30}$;
- het quotiënt van (i) het product van de dampspanning en de molaire massa en (ii) de $LC_{01,30}$.

Deze indices worden verder bestudeerd in § 2.3.

2.1.2 Bulkopslag tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen worden opgeslagen in druktanks. Deze druktanks zijn vaak niet ontworpen voor één specifieke stof, maar voor een bepaalde werkingsdruk.

2.1.2.1 OVR/11/07 Oiltanking Stolthaven Antwerpen (OTSA)

In tegenstelling tot de vloeistofopslag op de terminal wordt de gasopslag gekenmerkt door de langdurige opslag van welbepaalde producten in welbepaalde tanks. Voor de reeds gebouwde gassferen en ingeterpte drukhouders worden daarom de heden aanwezige stoffen in de

betreffende installaties weerhouden in de risicoanalyse. De bestemming van de vergunde maar nog niet gerealiseerde ingeterpte drukhouders ligt nog niet vast. De producten die mogelijk in deze houders kunnen worden opgeslagen zijn brandbare koolwaterstofgassen met drie of meer koolstofatomen die geen acuut toxische eigenschappen hebben. Als representatieve stof wordt gekozen voor **propyleen** aangezien dit product een hoge dampspanning heeft en het brandbare gebied van dit product relatief ruim is.

2.1.2.2 OVR/12/17 Antwerp Terminal & Processing Company (ATPC)

De LPG in opslag bestaat uit een mengsel van koolwaterstoffen met als belangrijkste een C₄-fractie. Dit kan o.m. gaan om een belangrijke fractie (tot zelfs 100%) 1,3-butadien. Langere ketens van koolwaterstoffen (C₅ tot C₁₀) alsook een kleine fractie C₃ zijn ook mogelijk doch vormen typisch een kleinere fractie. In de tabel met het overzicht van de eigenschappen van de gevaarlijke producten zijn zeven typische C₄-fracties opgenomen: i-butaan, n-butaan, 1-buteen, cis-2-buteen, trans-2-buteen, i-buteen en 1,3-butadien. Uit een analyse volgt dat het atmosferisch kookpunt van deze gassen varieert tussen ca. -12°C en ca. 0°C. Voor de analyse van de externe risico's worden de grootste effecten gevonden voor de koolwaterstoffen waarbij de grootste fractie in de gasfase terecht kan komen in geval van een vrijzetting. Dit is hier het product met het laagste atmosferische kookpunt m.n. i-butaan. Daarom wordt voor de analyse van de externe risico's uitgegaan van effecten verbonden aan **i-butaan**.

2.1.2.3 OVR/13/03 Total Raffinaderij Antwerpen

De opgeslagen producten in de LPG-zone zijn: n-butaan, i-butaan, propaan, propyleen en mengsels van butaan en buteen. Er wordt geen representatieve stof gebruikt: elke tank wordt gemodelleerd met het er in opgeslagen product.

2.1.2.4 OVR/13/20 ITC Rubis Terminal Antwerp

Voor de opslaghouders met tot vloeistof verdichte gassen wordt de maximale vullingsgraad voorgeschreven in het VLAREM waarbij rekening wordt gehouden met de vullingsgraden zoals voorgeschreven voor handelsbutaan en -propaan. De producten die mogelijk in deze houders kunnen worden opgeslagen zijn brandbare koolwaterstofgassen zoals vinylchloride of gassen met drie of meer koolstofatomen die geen acuut toxische eigenschappen hebben. Als representatieve stof wordt gekozen voor **propyleen** aangezien dit product een hoge dampspanning heeft en het brandbare gebied van dit product relatief ruim is.

2.1.2.5 OVR/14/01 BASF – Centraal Tankpark

Bij mengsels van koolwaterstoffen is bij de berekeningen van leidingen voor vloeibaar gemaakte, zeer licht ontvlambare gassen steeds uitgegaan van de meest vluchtige component van de groep, t.t.z. voor C₃-mengsels is uitgegaan van **propyleen**, voor C₄-mengsels van **i-butaan**.

2.1.2.6 OVR/14/05 AGT

Om de installaties van AGT voldoende flexibel te kunnen exploiteren ten aanzien van de aard van de tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen in opslag worden de berekeningen voor het extern risico uitgevoerd met een representatieve stof die naar effecten (en risico's) toe een maximale

inschatting geeft. Hiervoor is **propyleen** weerhouden, aangezien dit product door zijn laag atmosferisch kookpunt bij het vrijkomen aanleiding geeft tot de grootste flash- en sprayfractie waardoor de grootste hoeveelheden in de dampfase terechtkomen en dit zowel voor instantane als continue vrijzetting. Tevens is voor propyleen het brandbaar gebied (2 – 11 vol%) het grootst.

De hoeveelheden LPG opgenomen in de inventaris worden bereikt voor 100% vullingsgraad en zijn hierdoor een overschatting van de reële hoeveelheden, uitgedrukt in propyleen, maar zijn hierdoor voldoende ruim opdat ze in geval van een eventuele opslag van het product met de hoogste dichtheid, 1,3-butadien, niet zullen overschreden worden.

2.1.2.7 OVR/14/09 Total Olefins Antwerp (site A)

Voor de opslaghouders waarin in de toekomst een range van producten kan worden opgeslagen, wordt in de subselectie [en de QRA] uitgegaan van een representatieve stof die een representatieve, doch conservatieve inschatting geeft van het intrinsieke gevaar dat uitgaat van de groep van producten die mogelijk in de betreffende houder in opslag kunnen zijn. Concreet worden volgende representatieve stoffen genomen: **propyleen** voor de groep 'C₃-producten' en **i-butaan** voor de groep 'ontvlambare gassen'.

2.1.2.8 Bevindingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die in één of meerdere van de zes bestudeerde en relevante OVR's gebruikt werden. Tussen haakjes wordt vermeld in hoeveel van de bestudeerde OVR's de stof gebruikt werd als representatieve stof.

Groep	Representatieve stof (#/6)
C3	propyleen (2)
C3 en hoger	propyleen (3), i-butaan (1)
C4	i-butaan (2)

Tabel 2.1.2.8.1 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen voor de bulkopslag van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

Uit de OVR's blijkt dat de bepaling van een representatieve stof voor de bulkopslag van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen gebaseerd wordt op één of meerdere van onderstaande stoffeigenschappen:

- de dampspanning (bij de opslagtemperatuur);
- het atmosferisch kookpunt;
- de grootte van het explosiebereik.

2.1.3 Bulkopslag tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen worden opgeslagen in atmosferische tanks. Deze tanks zijn vaak niet ontworpen voor één specifieke stof, maar voor een bepaalde werkingstemperatuur.

2.1.3.1 OVR/13/20 ITC Rubis Terminal Antwerp

De opslag van gekoelde vloeibare gassen betreft dezelfde producten als deze die in de ingeterpte houders kunnen worden opgeslagen aangevuld met een aantal typisch gekoeld opgeslagen gassen nl. ethyleen en methaan (LNG). Voor het modelleren van de effecten (en risico's) van de gekoelde vloeibare gassen wordt in de risicoanalyse uitgegaan van **ethyleen**. Ethyleen heeft een lagere onderste explosiegrens dan methaan en heeft in overeenstemming met het Handboek Faalfrequenties omwille van zijn reactiviteit ook hogere vervolgekansen dan methaan. Ten opzichte van de LPG's met drie of vier koolstofatomen beschikt ethyleen over een vergelijkbare onderste explosiegrens maar heeft het een veel ruimer brandbaar gebied.

2.1.3.2 OVR/14/01 BASF – Centraal Tankpark

In B101 en B103, twee zogenaamde full containment tanks, worden zeer licht ontvlambare gassen in een tot vloeistof gekoelde toestand opgeslagen, m.n. ethyleen en LPG (i.e. mengsels van C₃- of C₄-koolwaterstoffen). Voor de berekeningen is voor LPG uitgegaan van het meest vluchtige product, nl. van **propyleen**.

2.1.3.3 OVR/14/05 AGT

Voor de tot vloeistof gekoelde brandbare gassen in tanks T01 en T02 wordt **propyleen** als representatieve stof weerhouden. Omwille van het lage atmosferisch kookpunt zal de warmteoverdracht [vanuit de ondergrond] het grootst zijn. De nieuwe tank T03 is voorzien voor ethyleen of ethaan. Er wordt gekozen om de berekeningen uit te voeren met de representatieve stof **ethyleen**, aangezien ethyleen in vergelijking met ethaan een lager kookpunt heeft, en een groter bereik van het brandbaar gebied in lucht (2,7 – 36% in plaats van 3 – 12,5%).

2.1.3.4 OVR/14/09 Total Olefins Antwerp (site A)

Voor de opslaghouders waarin in de toekomst een range van producten kan worden opgeslagen, wordt in de subselectie [en de QRA] uitgegaan van een representatieve stof die een representatieve, doch conservatieve inschatting geeft van het intrinsieke gevaar dat uitgaat van de groep van producten die mogelijk in de betreffende houder in opslag kunnen zijn. Concreet worden volgende representatieve stoffen genomen: **ethyleen** voor de groep 'C₂-producten' en de groep 'C₂/C₃-producten' en **propyleen** voor de groep 'C₃-producten'.

2.1.3.5 Bevindingen

In de bestudeerde OVR's wordt ofwel ethyleen (voor tanks voor de opslag van C₁-, C₂- en C₃-producten), ofwel propyleen (voor tanks voor de opslag van C₃- en C₄-producten) als representatieve stof weerhouden.

Uit de OVR's blijkt dat de bepaling van een representatieve stof voor de bulkopslag van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen gebaseerd wordt op één of meerdere van onderstaande stoffeigenschappen:

- de vluchtigheid;
- het atmosferisch kookpunt;

- ❑ de onderste explosiegrens;
- ❑ de grootte van het explosiebereik.

Daarnaast wordt ook rekening gehouden met het werkingsbereik van de opslaghouders: deze hebben immers een minimale werkingstemperatuur, waardoor stoffen met een kookpunt lager dan deze temperatuur niet in de houders kunnen opgeslagen worden.

2.1.4 Opslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in ISO-tankcontainers

De keuze van een representatieve stof voor de opslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in ISO-tankcontainers is analoog aan deze voor de opslag van deze stoffen in atmosferische tanks. In de beschrijving wordt evenwel ook opgenomen hoe het totaal (maximaal mogelijk) aantal aanwezige containers verdeeld wordt over de verschillende categorieën gevaarlijke stoffen.

2.1.4.1 OVR/12/12 Riga Logistics – Magazijn Saeftinghe

Maximaal 80 van de 200 tankcontainers zullen gevuld zijn met producten die toxische of ontvlambare eigenschappen vertonen:

- ❑ 20 containers met toxische vloeistoffen (totaal 480 ton);
- ❑ 20 containers met ontvlambare vloeistoffen (totaal 480 ton);
- ❑ 10 containers met licht ontvlambare vloeistoffen (totaal 240 ton) en
- ❑ 30 containers met zeer licht ontvlambare vloeistoffen (totaal 720 ton).

Containers met toxische stoffen worden enkel gestationeerd op containerplaats 1. De containers met (zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen worden ten behoeve van de risicoberekeningen gelijkmatig verdeeld over containerplaatsen 1 en 3 (dus elke containerplaats omvat 50% van het totaal aantal containers per gevaarcategorie).

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – Voor de zeer licht ontvlambare vloeistoffen is als representatieve stof **n-pentaaan** weerhouden. Voor de licht ontvlambare en de ontvlambare vloeistoffen zijn respectievelijk **n-hexaan** en **azijnzuur** gekozen.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – Voor de zeer toxische vloeistoffen is als representatieve stof **crotonaldehyde** weerhouden. Voor de toxische vloeistoffen is **allylalcohol** gekozen.

2.1.4.2 OVR/13/34 VLS Group Belgium – Magazijn Servaes

Voor de stationering wordt een onderscheid gemaakt tussen media met een lengte van zes meter (kleine media | 20 voet containers) en twaalf meter (grote media). De maximale opslagcapaciteit op ADR 1 bedraagt 303 kleine media of 124 grote media. Op ADR 2 kunnen 372 kleine of 165 grote media worden gestationeerd. Het merendeel van de containers die op de openlucht opslagplaatsen worden opgeslagen hebben een typisch volume van 24 m³ en een maximale inhoud van 23 ton (20 voet containers). De opslag van grotere containers (typisch 30 of 40 voet containers) gebeurt slechts in zeer beperkte mate.

De relatieve jaarlijkse aanwezigheid van broomcontainers op het terrein van de inrichting wordt bepaald op basis van de ervaringsgegevens van de exploitant (stocklijsten) over een periode van 12

maanden. Op basis van de uitgevoerde analyse wordt geconcludeerd dat er op jaarbasis gemiddeld 19,4 containers met broom permanent aanwezig zijn binnen de inrichting en dat deze containers gemiddeld ca. 23 dagen gestockeerd worden binnen de inrichting. Aangezien de aanwezigheid van tankcontainers met andere zeer toxische vloeistoffen die gelijkaardige effecten hebben op externe personen (bv. chloorpicrine) zeer beperkt is, wordt in de risicoanalyse uitgegaan van een permanente aanwezigheid van 20 tankcontainers met zeer toxische vloeistoffen. Zowel de broomcontainers als tankcontainers met andere zeer toxisch vloeistoffen worden uitsluitend gestockeerd op het zuidelijke deel van de openlucht opslagplaats ADR 2.

Uitgaande van een opslagcapaciteit van de openlucht opslagplaatsen van 12.600 ton, een totale opslagcapaciteit van de inrichting van 46.500 ton en een te vergunnen hoeveelheid aan toxische stoffen van 10.550 ton, wordt in de risicoanalyse rekening gehouden met een aanwezigheid van 2.860 ton toxische vloeistoffen op de openlucht opslagplaatsen. Uitgaande van een inhoud van 23 ton per tankcontainer komt dit neer op de aanwezigheid van 124 tankcontainers met toxische vloeistoffen op de openlucht opslagplaatsen.

Analoog komt men tot 669 tankcontainers met (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen en 25 tankcontainers met zeer licht ontvlambare vloeibare gassen op de openlucht opslagplaatsen.

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – De representatieve (zeer) licht ontvlambare vloeistof waarvoor de effecten worden bepaald, wordt geselecteerd uit een niet-limitatieve lijst van stoffen die kunnen worden opgeslagen binnen de inrichting. Omwille van de hoge dampspanning en de onderste explosiegrens die in verhouding met de dampspanning betrekkelijk laag is, wordt **n-pentaan** weerhouden als representatieve stof voor vrijzettingen van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen op de ADR-parking.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – De representatieve (zeer) toxische vloeistof waarvoor de effecten worden bepaald, wordt geselecteerd uit een niet-limitatieve lijst van stoffen die kunnen worden opgeslagen binnen de inrichting. De belangrijkste (zeer) toxische vloeistoffen uit de lijst worden weergegeven in onderstaande tabel.

product	Cat.	probitfunctie			LC _{01,30} [mg/m ³]	dampspanning bij 20°C [mbar]	max. effect- afstand [m]
		a	b	n			
methanol	T	-20,42	1	2	18887	128,8	0
dichloorpropeen	T	-15,35	1	2	1498	37,7	105
glutaaraldehyde	T	-7,78	1	2	34	0,33	86
2-mercaptoethanol	T	-13,83	1	2	700,8	1,63	0
1,2-dibroomethaan	T	-16,3	1,73	1,16	680,4	13,6	152
broom	T+	-12,36	1	2	335,7	228,7	585
chloorpicrine	T+	-9,17	1	2	68,1	24,4	380
TDI	T+	-27,14	2,43	2	84,3	0,018	0

Tabel 2.1.4.2.1 Overzicht van de effectafstanden van (zeer) toxische vloeistoffen opgeslagen tankcontainers op de ADR-parking van VLS – Servaes (OVR/13/34)

Op basis van bovenstaande tabel worden broom en dichloorpropeen geselecteerd als representatieve stoffen voor vrijzettingen van zeer toxische, respectievelijk toxische vloeistoffen op de ADR-parking. Berekeningen uitgaande van 1,2-dibroomethaan resulteren in beperkt grotere effectafstanden, maar de maximale hoeveelheid aan 1,2-dibroomethaan die binnen de inrichting mag worden opgeslagen is beperkt tot max. 300 ton omdat het product tot de met naam genoemde carcinogenen behoort. Concreet wordt de aanwezigheid van 1,2-dibroomethaan op de ADR-parking begroot op 80 ton (4 containers), ten opzichte van een totale aanwezigheid van toxische stoffen van 2.800 ton (122 containers), en wordt besloten dat de mogelijke aanwezigheid van 1,2-dibroomethaan op de parking niet bepalend is voor het risicobeeld van de inrichting.

2.1.4.3 OVR/13/38 ADPO Liefkenshoek

Het terrein van ADPO Liefkenshoek zal beschikken over een containerparking. Hier kunnen 254 containers per laag geplaatst worden, 3 containers hoog wanneer ze volgeladen zijn en 4 hoog als de containers leeg zijn. Op basis van ervaringsgegevens van ADPO wordt rekening gehouden met 50% volle containers.

Voor de P1/P2-containers zijn er 275 plaatsen beschikbaar. De verdeling tussen P1- en P2-vloeistoffen wordt aangenomen 50/50 te zijn. De massa-inhoud per container bedraagt ca. 20 ton. Uiteindelijk wordt er gerekend met 69 containers P1-vloeistof en 69 containers P2-vloeistof.

Er zijn 156 plaatsen voor (zeer) toxische stoffen, waarvan 50% vol worden verondersteld. Van deze plaatsen wordt aangenomen dat 33% als inhalatoir (zeer) toxisch is ingedeeld en de overige als dermaal of oraal (zeer) toxisch. Uiteindelijk wordt er gerekend met 26 containers met (zeer) toxische vloeistoffen.

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – De berekeningen worden uitgevoerd met (n-)pentaan zowel voor P1- als voor P2-vloeistoffen.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – De berekeningen worden uitgevoerd met het zeer toxische crotonaldehyde. De tankcontainers kunnen bijgevolg vloeistoffen bevatten met een index gelijk aan deze voor crotonaldehyde of lager.

2.1.4.4 OVR 14/14 Mexico Natie

Op de ADR opslagzone wordt de opslag van maximaal 288 20-voet tankcontainers (TEU) (stapelhoogte 3) voorzien. Uitgaande van een maximale inhoud van 30 m³ per TEU en een gemiddelde dichtheid van 1 ton/m³ bedraagt de maximale hoeveelheid aan gevaarlijke producten op de ADR opslagzone ca. 8.640 ton.

Deze opslagcapaciteit omvat maximaal 1.000 ton (licht) ontvlambare stoffen (Seveso-categorieën 6 en 7b). Daarnaast kan een capaciteit van 500 ton worden ingenomen door aardolieproducten. Wat acuut (zeer) toxische stoffen betreft (Seveso-categorieën 1 en 2), wordt de maximale opslagcapaciteit beperkt tot 500 ton. Ten slotte wordt, naast de niet met naam genoemde (zeer) toxische stoffen, uitgegaan van de aanwezigheid van 500 ton van het met naam genoemde broom. Rekening houdend met bovenvermelde maximale opslaghoeveelheden kan uitgaande van de maximale inhoud van een (tank)container (23 ton) worden berekend hoeveel containers met

representatieve stoffen maximaal gelijktijdig aanwezig kunnen zijn op de ADR parking. Zo wordt er bijvoorbeeld gerekend met $500/23 = \text{ca. } 22$ containers broom.

ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN – In de risicoanalyse wordt voor het modelleren van de explosie- en/of brandeffecten waarbij vloeistoffen uit Seveso-categorieën 6 en 7b betrokken zijn, gerekend met **n-hexaan** als representatieve stof omwille van zijn relatief hoge dampspanning en lage onderste explosiegrens binnen de klasse van dergelijke brandbare producten.

Wat de aardolieproducten betreft, wordt voor de P1/P2 producten en P3/P4 producten respectievelijke benzine (**n-pentaaan**)¹¹ en **diesel**¹² als representatieve stof weerhouden voor het modelleren van de explosie- en/of brandeffecten.

TOXISCHE VLOEISTOFFEN – Naast de naam genoemde producten **broom** en **methylbromide**, die in de risicoanalyse afzonderlijk worden weerhouden, kunnen (zeer) toxische producten in een zekere hoeveelheid langdurig aanwezig zijn in media op de ADR parking. De impact van een acuut toxisch product op de omgeving buiten de inrichting wordt in hoofdzaak bepaald door de toxiciteit van het product en anderzijds door de maat waarmee het product verdampt bij de opslagtemperatuur. Op basis van de producten met acuut toxische eigenschappen wordt gelet op de LC_{01,30} en de dampspanning conservatief **acrylonitril** weerhouden voor het modelleren van toxische effecten. De hoeveelheid producten die een toxische impact hebben die vergelijkbaar is met acrylonitril zal in de realiteit kleiner zijn dan de hoeveelheden die door de inrichting worden aangevraagd voor producten uit Seveso-categorieën 1 en 2. Aldus is de keuze van acrylonitril als representatieve stof voor de niet met naam genoemde (zeer) toxische producten, naast broom als met naam genoemd zeer toxisch product, als conservatief te aanzien.

2.1.4.5 Bevindingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die in één of meerdere van de vier bestudeerde OVR's gebruikt werden.

Groep	Representatieve stof (#/4)
zeer licht ontvlambare vloeistoffen (P1)	n-pentaaan (4)
licht ontvlambare vloeistoffen (P1)	n-hexaan (2), n-pentaaan (3)
ontvlambare vloeistoffen (P2)	azijnzuur (1), n-hexaan (1), n-pentaaan (1)
P3/P4 vloeistoffen	diesel (1)
zeer toxische vloeistoffen	acrylonitril (1), broom (1), crotonaldehyde (2)

¹¹ Conform de veiligheidsinformatiebladen wordt benzine ingedeeld als zeer licht ontvlambaar. Gelet op het feit dat benzine een mengsel van koolwaterstoffen betreft, wordt voor het uitvoeren van de effectberekeningen in de externe risicoanalyse de productcategorie P1/P2 aardolieproducten benaderd door gebruik te maken van de eigenschappen van n-pentaaan.

¹² In het gebruikte plasbrandmodel is het mogelijk om diesel als stof in te geven.

Groep	Representatieve stof (#/4)
toxische vloeistoffen	acrylonitril (1), allylalcohol (1), crotonaldehyde (1), dichloorpropeen (1)

Tabel 2.1.4.5.1 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen voor de opslag van ontvlambare of toxische vloeistoffen in ISO-containers

De representatieve (zeer) (licht) ontvlambare vloeistoffen zijn gelijkaardig aan deze die gebruikt werden voor de bulkopslag in atmosferische tanks. Voor de (zeer) toxische vloeistoffen worden evenwel enkele “nieuwe” representatieve stoffen gevonden, zoals broom en crotonaldehyde, die zoals later zal blijken (zie § 2.3.1) gekenmerkt worden door een hoge indexwaarde voor toxische vloeistoffen.

2.2 LITERATUURSTUDIE – NEDERLAND

In § 2.3 zal getracht worden de stoffen in te delen in verschillende groepen op basis van een indexwaarde. Voor elke groep zal tevens een referentiestof bepaald worden, waarmee de berekeningen uitgevoerd worden. Deze werkwijze vindt mede haar oorsprong in de onderstaande werkwijze die in Nederland gehanteerd wordt in de *Concept rekenmethode voor stuwadoorsbedrijven* (RIVM, 2011).

2.2.1 Stofcategorieën

In Nederland is in het kader van het Project Vervoer over Water een methodiek opgesteld om gevaarlijke stoffen in te delen in stofcategorieën. De methodiek staat bekend als de S3b-methodiek, wat een verwijzing is naar het deelproject waarin de methodiek werd uitgewerkt, m.n. deelproject *S3b Systematiek voor het indelen van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen*. De stofcategorieën staan beschreven in het Paarse Boek (PGS 3). Uit praktische overwegingen zijn de stoffen in een beperkt aantal stofcategorieën samengenomen en in de risicoanalyse wordt per stofcategorie een voorbeeldstof gehanteerd. Deze voorbeeldstoffen kunnen als uitgangspunt dienen voor de representatieve stoffen voor gebruik binnen de QRA in Vlaanderen. Hierbij kan reeds opgemerkt worden dat, alhoewel de indeling in eerste instantie gemaakt is voor het transport van gevaarlijke stoffen, deze in Nederland ook wordt toegepast in de QRA voor zogenaamde BRZO-inrichtingen.

De indelingscriteria van de S3b-methodiek worden in de onderstaande tabellen gegeven, waarin T_{kritisch} (K) de kritische temperatuur is, T_{kook} (K) het atmosferisch kookpunt, LC_{50} (ppm) de letale concentratie die leidt tot een letaliteit van 50%, T_{vlam} (K) het vlampunt en P_v (mbar) de dampspanning bij 20°C.

T_{kritisch} [K]	GF	T_{kook} [K]
< 293	GF0	< 182
> 440	GF1	> 273
400 – 440	GF2	253 – 273
293 – 400	GF3	182 – 253

Tabel 2.2.1.1 Indelingscriteria S3b-methodiek voor brandbare gassen (GF)

T_{kritisch} [K]	LC_{50} [ppm] inhalatie, rat, 1 uur				T_{kook} [K]
	< 10^2	$10^2 - 10^3$	$10^3 - 10^4$	$10^4 - 5 \cdot 10^4$	
< 293	GT0	GT0	GT0	GT0	< 182
> 440	GT5	GT4	GT3	GT2	> 273
400 – 440	GT5	GT5	GT4	GT3	253 – 273
293 – 400	GT5	GT5	GT5	GT4	182 – 253

Tabel 2.2.1.2 Indelingscriteria S3b-methodiek voor toxische gassen (GT)

LF	T_{vlam} [K]
LF1	296 (23°C) – 333 (60°C)
LF2	< 296 (23°C)

Tabel 2.2.1.3 Indelingscriteria S3b-methodiek voor brandbare vloeistoffen (LF)

P_v [mbar]	LC ₅₀ [ppm] inhalatie, rat, 1 uur				T_{kook} [K]
	< 10 ¹	10 ¹ – 10 ²	10 ² – 10 ³	10 ³ – 5.10 ³	
< 10	LT2	LT1			> 373
10 – 50	LT3	LT2	LT1		353 – 373
50 – 200	LT4	LT3	LT2	LT1	323 – 353
200 – 700	LT5	LT4	LT3	LT2	303 – 323
> 700	LT6	LT5	LT4	LT3	< 303

Tabel 2.2.1.4 Indelingscriteria S3b-methodiek voor toxische vloeistoffen (LT)

Er zijn blijkbaar twee indelingscriteria die niet volledig met elkaar overeenkomen. Een stoffenlijst met bijhorende indeling is te vinden op de website van AVIV¹³. De betekenis van de aanduidingen is de volgende:

- GF* brandbaar gas;
- GT* toxisch gas;
- LF* brandbare vloeistof;
- LT* toxische vloeistof,

waarbij * een cijfer voorstelt. Hoe hoger dit cijfer, hoe groter het risico dat de betreffende stof kan opleveren.

2.2.2 Voorbeeldstoffen

In het *Concept rekenmethode voor stuwadoorsbedrijven* (RIVM, 2011) worden onderstaande voorbeeldstoffen gehanteerd voor de verschillende stofcategorieën.

hoofdcategorie	categorie	stofnaam
brandbare gassen	GF1	ethyleenoxide (brandbaar)
	GF2	butaan
	GF3	propanaan

¹³ www.aviv.nl/userfiles/files/bestanden-vorige-website/Stoffenlijst-S3B-editie-1999.pdf

hoofdcategorie	categorie	stofnaam
toxische gassen	GT2	methylmercaptaan
	GT3	ammoniak (toxisch)
	GT4	zwaveldioxide
	GT5	chloor
brandbare vloeistoffen	LF1	nonaan
	LF2	hexaan
toxische vloeistoffen	LT1	acrylnitril (toxisch)
	LT2	allylamine (toxisch)
	LT3	acroleïne (toxisch)
	LT4	methylisocyanaat (toxisch)

Tabel 2.2.2.1 Voorbeeldstoffen (RIVM, 2011)

2.3 CASESTUDIES

In de casestudies worden de effecten en het risico op personen berekend voor enkele eenvoudige installaties (bv. opslagtanks) en/of activiteiten (bv. een losoperatie). Op basis van de berekeningen wordt onderzocht welke stoffeigenschappen (hoofdzakelijk) de effecten en het risico bepalen. Vervolgens wordt nagegaan of de bestudeerde gevaarlijke stoffen kunnen worden ingedeeld in groepen met een afnemend risicopotentieel en of die groepen kunnen worden vertegenwoordigd door een set van representatieve stoffen.

Volgende categorieën van gevaarlijke stoffen worden bestudeerd aan de hand van casestudies¹⁴:

- Acuut inhalatoir toxische vloeistoffen
- Ontvlambare vloeistoffen
- Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen
- Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

De berekeningen die in dit hoofdstuk worden toegelicht, zijn uitgevoerd conform de voorschriften en richtlijnen voor het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse zoals opgenomen in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. De stoffeigenschappen van de gevaarlijke stoffen zijn ontleend uit de *DIPPR database (2018)*.

2.3.1 Acuut inhalatoir toxische vloeistoffen

2.3.1.1 Bestudeerde stoffen

De toxische vloeistoffen¹⁵ waarvoor in deze studie effect- en risicoberekeningen worden uitgevoerd, worden opgelijst in tabel 2.3.1.1.1. Bij de selectie van de stoffen is rekening gehouden met de beschikbaarheid van een specifieke Vlaamse probitfunctie¹⁶ en met de representatieve toxische vloeistoffen die in recente omgevingsveiligheidsrapporten werden geselecteerd of in beschouwing werden genomen in een selectieprocedure.

¹⁴ Het gebruik van representatieve stoffen in een QRA wordt hoofdzakelijk toegepast bij bulkterminals waar een groot aantal ontvlambare of toxische vloeistoffen en/of ontvlambare gassen worden opgeslagen voor derden. Voor de opslag van toxische (tot vloeistof verdichte) gassen op het terrein van een Seveso-inrichting is in de regel geweten welk gas zal worden opgeslagen in welke installatie.

¹⁵ Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende relevante categorieën acuut toxische vloeistoffen. Het risico van deze stoffen wordt immers niet enkel bepaald door de toxiciteit van de stof, maar ook door de dampspanning en de molare massa van de stof. Bijgevolg kunnen acuut toxische vloeistoffen cat. 2 aanleiding geven tot grotere effect- en risicoafstanden dan acuut toxische vloeistoffen cat. 1.

¹⁶ Handboek Risicoberekeningen, module 20 (Departement Omgeving, 2019).

Stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m³]	Damp-dichtheid bij 13°C [kg/m³]	Damp-spanning bij 13°C [mbar]	Diffusie-coëfficiënt in lucht [m²/s]	LC _{01,30min} [mg/m³]	Probitfunctie			Seveso III rubriek ^(†)
								a	b	n	
acroleïne ^(*)	107-02-8	56,1	847,1	2,5	218,9	1,02E-05	44,1	-11,70	2,00	1,00	H1 (acuut tox. 1), H2 (acuut tox. 2)
acrylonitril	107-13-1	53,1	814,2	2,4	73,5	1,04E-05	532,6	-7,27	0,86	1,30	H2 (acuut tox. 3)
allylalcohol	107-18-6	58,1	858,9	2,6	15,5	9,86E-06	241,2	-15,10	2,00	1,00	H2 (acuut tox. 3)
allylchloride	107-05-1	76,5	946,5	3,4	298,7	9,91E-06	4160,6	-20,20	1,82	1,10	- (acuut tox 4)
aniline (35°C) ^(**)	62-53-3	93,1	1008,3	4,0	1,81	8,96E-06	593,3	-16,90	2,00	1,00	H2 (acuut tox. 3)
benzalchloride	98-87-3	161,0	1259,3	8,2	0,30	7,20E-06	64,2	-9,05	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
benzotrichloride	98-07-7	195,5	1381,4	10,1	0,27	7,16E-06	21,2	-6,84	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3), 33
benzylchloride	100-44-7	126,6	1107,9	6,1	0,76	7,29E-06	418,3	-12,80	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
broom ^(*)	7726-95-6	159,8	3145,4	7,0	166,1	9,29E-06	335,7	-12,36	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 2), 9
crotonaldehyde (cis-) ^(*)	4170-30-3	70,1	827,9	3,2	41,6	8,76E-06	126,3	-12,83	1,72	1,16	H2 (acuut tox. 2)
crotonaldehyde (trans-) ^(*)		70,1	860,0	3,2	24,1	8,76E-06	126,3	-12,83	1,72	1,16	H2 (acuut tox. 2)
dichloorethaan (1,2-)	107-06-2	99,0	1264,0	4,4	58,3	1,11E-05	4101,2	-20,24	1,85	1,08	- (acuut tox. 4)
dimethylsulfaat	77-78-1	126,1	1335,6	5,8	0,42	8,15E-06	41,9	-8,20	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 2)
epichloorhydrine	106-89-8	92,5	1188,3	4,2	11,0	1,08E-05	1689,8	-20,28	2,38	0,84	H2 (acuut tox. 3)
ethyleendibromide	106-93-4	187,9	2192,4	8,6	9,1	7,66E-06	680,4	-16,30	1,73	1,16	H2 (acuut tox. 3), 33
ethyleenimine ^(*)	151-56-4	43,1	843,1	1,9	156,3	1,44E-05	62,5	-12,33	1,98	1,01	H1 (acuut tox. 1), H2 (acuut tox. 2), 12
fosforoxychloride ^(*)	10025-87-3	153,3	1688,3	7,1	21,7	8,48E-06	62,6	-9,00	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 2)
fosfortrichloride	7719-12-2	137,3	1588,9	6,1	92,5	8,96E-06	135,1	-10,54	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 2)
furfural	98-01-1	96,1	1166,8	4,4	1,3	8,49E-06	3282,1	-16,92	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
fururylalcohol	98-00-0	98,1	1139,6	4,6	0,30	8,31E-06	256,8	-11,58	0,91	2,21	H2 (acuut tox. 3)



Stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m³]	Damp-dichtheid bij 13°C [kg/m³]	Damp-spanning bij 13°C [mbar]	Diffusie-coëfficiënt in lucht [m²/s]	LC _{01,30min} [mg/m³]	Probitfunctie			Seveso III rubriek ^(†)
								a	b	n	
glutaraldehyde	111-30-8	100,1	1020,2	5,0	0,18	7,47E-06	34,0	-7,78	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 2)
hexamethyleendiisocyaanat (1,6-)	822-06-0	168,2	1043,5	10,6	0,005	5,75E-06	27,4	-7,35	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
hydrazine	302-01-2	32,0	1013,7	1,4	9,0	1,75E-05	735,3	-19,02	2,48	0,81	H2 (acuut tox. 3)
isoforondiisocyaanat	4098-71-9	222,3	1066,7	n.b.	0,0005	4,97E-06	11,7	-5,65	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
koolstofdisulfide	75-15-0	76,1	1274,1	3,3	296,4	9,76E-06	8753,3	-23,44	2,33	0,86	-
mercaptoethanol (2-)	60-24-2	78,1	1120,9	3,6	1,0	9,40E-06	460,0	-12,99	1,00	2,00	<i>niet opgenomen</i>
methaansulfonylchloride	124-63-0	114,6	1481,9	5,3	1,4	1,01E-05	201,2	-18,24	3,03	0,66	<i>niet opgenomen</i>
methacrylonitril	126-98-7	67,1	807,4	3,1	53,8	8,89E-06	102,1	-9,98	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)
methylacrylaat	96-33-3	86,1	961,7	3,9	63,8	8,29E-06	1388,8	-15,20	1,00	2,00	- (acuut tox. 4)
methylchloracetaat	96-34-4	108,5	1245,3	5,0	4,5	8,88E-06	561,4	-16,19	1,82	1,10	H2 (acuut tox. 3)
nitrobenzeen	98-95-3	123,1	1210,2	6,1	0,13	7,42E-06	1809,2	-19,13	2,00	1,00	H2 (acuut tox. 3)
propyleenimine	75-55-8	57,1	809,7	2,5	102,4	1,12E-05	330,9	-17,02	2,38	0,84	H1 (acuut tox. 1), H2 (acuut tox. 2)
tetrachloormethaan	56-23-5	153,8	1605,3	6,9	87,1	7,00E-06	8148,2	-17,90	0,71	2,84	H2 (acuut tox. 3)
tetraethyllood	78-00-2	323,4	1663,6	19,0	0,20	5,64E-06	93,8	-9,81	1,00	2,00	<i>niet opgenomen</i>
tolueendiisocyaanat (2,4-) (bij 35°C) ^(**)	91-08-7	174,2	1204,9	8,8	0,055	6,80E-06	84,3	-27,14	2,43	2,00	H2 (acuut tox. 2), 26

stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	Damp-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	Damp-spanning bij 13°C [mbar]	Diffusie-coëfficiënt in lucht [m ² /s]	LC _{01,30min} [mg/m ³]	Probitfunctie			Seveso III rubriek ^(†)
								a	b	n	
toluidine (o-)	95-53-4	107,2	1004,2	5,2	0,12	7,15E-06	846,6	-14,21	1,00	2,00	H2 (acuut tox. 3)

^(†) Geharmoniseerde indeling en etikettering van gevaarlijke stoffen conform CLP ATP13 (publicatiedatum: 16 oktober 2018, toepassingsdatum: 1 mei 2020). Voor gevaarlijke stoffen die niet zijn opgenomen in de tabel van geharmoniseerde vermeldingen wordt 'niet opgenomen' vermeld in de kolom 'Seveso III rubriek'.

^(*) Deze producten worden gelet op de mogelijke impact van een vrijzetting op de omgeving niet in bulk opgeslagen in grote atmosferische tanks. Ze worden enkel opgeslagen en getransporteerd in kleinere volumes (o.a. in tankcontainers of eenheidsverpakkingen)

^(**) Vermelde stoffeigenschappen zijn de waarden bij een temperatuur van 35°C

Tabel 2.3.1.1.1 Selectie van toxische vloeistoffen die worden bestudeerd in de casestudie 'Toxische vloeistoffen'



2.3.1.2 Bestudeerde installatie-onderdelen

De installaties die worden beschouwd in de casestudie 'Toxische vloeistoffen' zijn installaties die typisch worden aangewend voor de op- of overslag van dergelijke vloeistoffen op een Seveso-inrichting. Concreet worden volgende installaties bestudeerd in de casestudie:

- een tankenpark met atmosferische opslagtanks
- een stelplaats (parking) voor tankcontainers
- een flexibele slang voor het lossen van schepen
- een flexibele slang voor het laden van tankwagens

TANKENPARKEN – In de casestudie worden vier VLAREM-conforme tankenparken bestudeerd met een opslagcapaciteit tussen 9.000 en 60.000 m³. De specificaties van de beschouwde tankenparken worden opgelijst in onderstaande tabel. Bij het bepalen van de kuipdimensies wordt een minimale onderlinge afstand tussen de tanks van vijf meter gehanteerd. Met betrekking tot de ondergrond van de kuip wordt uitgegaan van beton (h_p waarde: 5 mm).

Tanken-park	# tanks	Volume tank [m ³]	Capaciteit [m ³]	Hoogte tank [m]	Diameter tank [m]	Max. aansluit-diameter [mm]	Hoogte kuip-muur [m]	Kuip-oppervlakte (bruto/netto) [m ²]
TP1	6	1.500	9.000	15	11,28	200	3	2.000 / 1.400
TP2	6	3.000	18.000	15	15,96	300	3	4.000 / 2.800
TP3	6	6.000	36.000	15	22,57	300	3	8.000 / 5.600
TP4	6	10.000	60.000	15	29,13	300	3,5	11.905 / 7.905

Tabel 2.3.1.2.1 Specificaties van de beschouwde tankenparken in de casestudie 'Toxische vloeistoffen'

STELPLAATS TANKCONTAINERS – In de casestudie wordt verder een stelplaats met honderd 20-voet tankcontainers bestudeerd. De tankcontainers hebben een volume van 24.000 liter, een diameter van 2,5 m, een maximale aansluitdiameter van 80 mm en zijn voor 95% gevuld. De tankcontainers staan op een vlakke betonnen ondergrond (h_p waarde: 5 mm). De maximale plasoppervlakte wordt bij een incidentele vrijzetting uit de tankcontainer door de aanwezige opvangvoorzieningen beperkt tot 1.200 m².

VERLAADSLANG SCHEPEN – Met betrekking tot de overslag van toxische vloeistoffen wordt in de casestudie een 6" (150 mm) flexibele losslang voor schepen bestudeerd. Het nominaal verladingsdebiet en de druk in de slang bedragen respectievelijk 250 m³/h en 5 barg. Bij een incidentele vrijzetting kan de slang via een noodstop door de toezichthoudende operator worden ingeblokt (reactietijd: 120 s, faalkans: 0,1 per aanspraak). De flexibele losslang wordt 2.000 uren per jaar gebruikt.

Heel wat toxische vloeistoffen zijn zwaarder dan water en lossen relatief goed op in water. Bij het bepalen van een representatieve stof wordt in principe geen rekening gehouden met de mogelijke

bezinking of oplosbaarheid van de stof in in water, omdat dit meestal niet voor alle aanwezige stoffen binnen de inrichting van toepassing is.

Met betrekking tot het zinken van vloeistoffen in water, dient te worden vermeld dat de plesspreiding van zware vloeistoffen op water niet kan worden berekend met het model dat is opgenomen in §16.3.1.3 van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. Bijgevolg zullen de risico's en effecten van zware ongevallen tijdens een scheepsverlading van toxische vloeistoffen slechts worden berekend voor een beperkte set van vloeistoffen.

VERLAADSLANG TANKWAGENS – Tot slot wordt in de casestudie een 3" (80 mm) flexibele laadslang voor tankwagens bestudeerd. Het nominaal verladersdebiet en de druk in de slang bedragen respectievelijk 100 m³/h en 5 barg. Bij een incident kan de slang via een noodstop door de toezichthoudende operator worden ingeblokt (reactietijd: 120 s, faalkans: 0,1 per aanspraak). Er wordt verder aangenomen dat het incidenteel vrijgezette product terecht komt op een vlakke betonnen ondergrond (h_p waarde: 5 mm). De maximale plasoppervlakte wordt bij een incidentele vrijzetting beperkt tot 1.200 m². Er wordt aangenomen dat de flexibele laadslang gedurende 1.000 uren per jaar wordt gebruikt.

2.3.1.3 Rekenmethode en aangewende modellen

De risico- en effectberekeningen worden uitgevoerd conform de voorschriften en richtlijnen voor het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse zoals opgenomen in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. De voorschriften en modellen worden hieronder beknopt toegelicht.

UITSTROMING – De uitstroming van een vloeistof uit een atmosferisch bedreven opslagtank of tankcontainer wordt berekend met behulp van de vergelijking van Bernouilli voor onsamen-drukbare fluïda, waarbij met betrekking tot de hoogte van de vloeistofkolom boven de lekopening wordt uitgegaan van een lekkage aan de onderzijde van de installatie en een maximale vullingsgraad van de tank. Met betrekking tot de uitstroom- of verliescoëfficiënt wordt gerekend met een waarde van 0,62.

Bij een breuk van een flexibele verlaadslang, wordt het uitstroomdebiet gelijkgesteld aan anderhalve keer het nominaal verlaaddebiet. Verder wordt bij een breuk van de slang geen rekening gehouden met een eventuele terugstroming vanuit de te beladen opslagtank of tankwagens. Bij een lek aan de flexibele verlaadslang wordt het uitstroomdebiet bepaald met de vergelijking van Bernouilli, uitgaande van een druk in de slang van 5 barg en een verliescoëfficiënt van 0,62.

PLASSPREIDING EN -VERDAMPING – Na vrijzetting zal de vloeistof zich over de ondergrond verspreiden. De plesspreiding wordt berekend met behulp van de formules van Webber (Webber, 1990). Tegelijk wordt rekening gehouden met de verdamping van de spreidende vloeistofplas. Het verdampingsdebiet \dot{m}_v (kg/s) van een niet-kokende vloeistofplas wordt berekend op basis van

$$\dot{m}_v = h_m \cdot A \cdot c_0 \tag{2.3.1}$$

waarin h_m (m/s) de massaoverdrachtscoëfficiënt is, A (m²) de plasoppervlakte en c_0 (kg/m³) de concentratie van de verdampende stof aan het oppervlak van de plas. Deze laatste wordt berekend uit de verzadigingsdruk (dampspanning) van de vloeistof p_s (Pa):

$$c_0 = \frac{M \cdot p_s(T_{\text{plas}})}{R \cdot T_a} \quad (2.3.2)$$

waarin M (kg/mol) de molaire massa is, R (J/mol.K) de universele gasconstante, T_{plas} (K) de temperatuur van de plas en T_a (K) de temperatuur van de omgevende lucht.

Uitdrukking (2.3.1) wordt vermenigvuldigd met de volgende correctiefactor

$$\frac{p_a}{p_s} \cdot \ln \left(1 + \frac{p_s}{p_a - p_s} \right) = \frac{p_a}{p_s} \cdot \ln \left(\frac{p_a}{p_a - p_s} \right) \quad (2.3.3)$$

die voornamelijk van invloed is bij hoge dampspanningen, wanneer de normale snelheid aan het plasoppervlak aanzienlijk is en de convectieve bijdrage aan de verticale massaoverdracht niet kan verwaarloosd worden (Kunsch, 1998).

De massaoverdrachtscoëfficiënt h_m (m/s) wordt berekend op basis van de correlaties van Kunsch (Kunsch, 1998). Benaderend kan de massaoverdrachtscoëfficiënt in het model van Kunsch geschreven worden als:

$$h_m = 0,194 \cdot u^* \cdot \left(\frac{L}{z_0} \right)^{-0,016} \cdot Sc^{-0,52} \cdot Re^{*-0,26} \quad (2.3.4)$$

$$u^* = \left(\frac{0,4 \cdot u_{10}}{\ln \left(\frac{10}{z_0} \right)} \right)^{-0,016}, Re^* = \left(\frac{u^* \cdot z_0}{\nu_a} \right) \text{ en } Sc = \frac{\nu_a}{D} \quad (2.3.5)$$

waarin u_{10} (m/s) de windsnelheid op een hoogte van 10 m, L (m) de lengte van de plas (in de windrichting), z_0 (m) de ruwheidslengte van het terrein, ν_a (m²/s) de kinematische viscositeit van lucht en D (m/s) de massadiffusiviteit van de stof in lucht¹⁷.

De convectieve warmteoverdracht tussen de plas en de omgevingslucht wordt berekend op basis van de uitdrukking van Kunsch (Kunsch, 1998). Benaderend kan de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt in het model van Kunsch geschreven worden als:

$$\bar{h}_a = 0,194 \cdot u^* \cdot \rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{L}{z_0} \right)^{-0,016} \cdot Pr^{-0,52} \cdot Re^{*-0,26} \quad (2.3.6)$$

$$Pr = \frac{\nu_a}{D} \quad (2.3.7)$$

waarin h_a (W/m².K) de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt tussen de plas en de omgevingslucht is, ρ (kg/m³) de dichtheid van zuivere lucht bij 13°C en c_p (J/kg.K) de soortelijke warmtecapaciteit bij constante druk van zuivere lucht bij 13°C.

Voor de stralingswarmteoverdracht van de zon naar de plas wordt een constante waarde genomen voor de invallende zonnestraling $S = 270$ W/m² (gedurende de dag en de nacht).

¹⁷ In principe dient de kinematische viscositeit bepaald te worden voor het damp/lucht mengsel boven de plas en dient de diffusiviteit ook bepaald te worden voor de stof in het damp/lucht mengsel boven de plas.

De geleidingswarmteflux vanuit de bodem wordt berekend op basis van

$$\dot{q}_{\text{geleiding}}'' = \frac{k_g \cdot (T_g - T_{\text{plas}})}{\sqrt{\pi \cdot \alpha_g \cdot t}} \quad (2.3.8)$$

waarin k_g (W/m.K) de thermische geleidbaarheid van de bodem is, T_g (K) de (initiële) temperatuur van de bodem en α_g (m²/s) de thermische diffusiviteit van de bodem.

Bij een vrijzetting op water kunnen er zich – in tegenstelling tot op land – ondergrondse stromingen voordoen, zodat ter bepaling van de warmteflux vanuit de ondergrond doorgaans gebruik wordt gemaakt van een empirisch bepaalde convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt h_w (W/m².K). De warmteflux wordt dan gegeven door:

$$\dot{q}'' = h_w \cdot (T_w - T_{\text{plas}}) \quad (2.3.9)$$

waarin T_w (K) de temperatuur van het water is. Voor de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt h_w wordt in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* een waarde van 500 W/m².K voorgesteld.

DISPERSIE – Aangezien de dampen van de bestudeerde toxische vloeistoffen bij omgevings-temperatuur alle beduidend zwaarder zijn dan lucht, wordt de dispersie van de vrijgezette dampen in de omgeving berekend met het zwaargasmodel SLAB (Ermak, 1990).

SCHADEFUNCTIES – Een schadefunctie geeft het verband tussen het schadelijke effect waaraan een persoon wordt blootgesteld in geval van een zwaar ongeval en de kans op het overlijden van die persoon. Schadefuncties worden over het algemeen uitgedrukt in de vorm van een probitfunctie, zijnde een logaritmisches verband tussen het schadelijke effect en de daaraan gekoppelde kans op doding. Voor toxische stoffen wordt deze probitfunctie gegeven door:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot t) \quad (2.3.10)$$

waarin Pr (-) de probitwaarde die een maat is voor de kans op doding, C (mg/m³) de concentratie waaraan een persoon wordt blootgesteld, t (min.) de blootstellingstijd en a , b en n stofafhankelijke probitconstanten. De probitconstanten van de verschillende stoffen worden gegeven in tabel 2.3.1.1.1.

2.3.1.4 Toxiciteitsindices

Een toxiciteitsindex is een maat is voor het gevaren- of het risicopotentieel van een toxische vloeistof en is gebaseerd op meerdere stoffeigenschappen. Toxiciteitsindices worden in veiligheidsrapporten aangewend om op een onderbouwde wijze een representatieve stof te kiezen uit een groep van toxische vloeistoffen die op een Seveso-inrichting aanwezig (kunnen) zijn.

In de bestudeerde veiligheidsrapporten¹⁸ werden twee types van indices toegepast voor het selecteren van een representatieve toxische vloeistof. Een index, TV_1 , die gebruikmaakt van de

¹⁸ Zie OVR/13/38 ADPO Liefkenshoek (§ 2.1.1.5) en OVR/12/13 Vopak Terminal Linkeroever (§ 2.1.1.3).

dampspanning p_s (Pa) en de $LC_{01,30min}$ waarde¹⁹ (mg/m^3) van de stof in kwestie en een tweede index, TV_2 , waarin naast deze twee stoffeigenschappen ook rekening wordt gehouden met de molaire massa M (g/mol) van de toxische stof.

$$TV_1 = C_1 \cdot \frac{p_s}{LC_{01,30min}} \quad (2.3.11)$$

$$TV_2 = C_2 \cdot \frac{M \cdot p_s}{LC_{01,30min}} \quad (2.3.12)$$

De waarden van de constanten C_1 en C_2 worden in deze studie gelijkgesteld²⁰ aan respectievelijk 36,276 en 0,683644.

Aangezien de dampspanning van de stof afhankelijk is van de vloeistoftemperatuur, dient verder gespecificeerd te worden bij welke temperatuur deze indices bepaald dient te worden. In de veiligheidsrapporten¹⁸ waarin bovenstaande indices worden gebruikt, wordt de dampspanning bepaald bij de opslagtemperatuur van de stof.

Op basis van de hogervermelde beschrijving van de aangewende rekenmodellen wordt een nieuwe, meer complexe, toxiciteitsindex voorgesteld.

$$TV_3 = C_3 \cdot \frac{M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right) \cdot D^{0,52}}{LC_{01,30min}} \quad (2.3.13)$$

waarin M (g/mol) de molaire massa is, p_s (Pa) de dampspanning van de toxische vloeistof, p_a (Pa) de omgevingsdruk, D (m^2/s) de massadiffusiviteit van de damp in lucht en $LC_{01,30min}$ (mg/m^3) de concentratie die aanleiding geeft tot een kans op doding van 1% bij een blootstelling gedurende 30 minuten en C_3 een constante die gelijkgesteld²⁰ wordt aan $2,60545 \cdot 10^7$. In de teller staan alle stoffeigenschappen die bepalend zijn voor het brondebiet, m.n. het verdampingsdebiet (zie uitdrukkingen 2.3.1 t.e.m. 2.3.4). In de noemer staat een concentratiedrempel die over het algemeen bepalend is voor de maximale effectafstand van een incidentele vrijzetting. De dampspanning en de massadiffusiviteit, die beide temperatuurafhankelijk zijn, worden bepaald bij de opslagtemperatuur van de toxische vloeistof.

Index TV_3 bevat de massadiffusiviteit van de damp in lucht D . Dit is een stoffeigenschap waarvoor in vergelijking met de andere stoffeigenschappen moeilijker eenduidige waarden te vinden zijn.

¹⁹ De $LC_{01,30min}$ waarde van een toxische stof (mg/m^3) betreft de concentratie die aanleiding geeft tot een kans op doding van een persoon van 1% bij een blootstelling gedurende 30 minuten. Indien de probitfunctie van de stof niet gekend is, kan de $LC_{01,30min}$ voor de mens eenvoudig worden bekomen op basis van een LC_{50} -waarde voor ratten door volgende formule toe te passen: $LC_{01,30min,mens} = 1/12,8 \times LC_{50,1,rat} \times (t/30)^{1/2}$ met t de blootstellingstijd uitgedrukt in minuten.

²⁰ De constanten worden zodanig gekozen dat de toxiciteitsindices van acrylonitril (een vaak gekozen representatieve toxische vloeistof) steeds gelijk is aan 500.

Daarom zal ook een vereenvoudigde versie van deze index bestudeerd worden die de massadiffusiviteit niet bevat²¹.

$$TV_4 = C_4 \cdot \frac{M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LC_{01,30min}} \quad (2.3.14)$$

De waarde van de constante C_4 wordt gelijkgesteld²⁰ aan $6,6727 \cdot 10^4$.

Tabel 2.3.1.4.1 geeft een overzicht van de berekende toxiciteitsindices van de bestudeerde vloeistoffen voor een opslagtemperatuur van 13°C²². De stoffen zijn gerangschikt in de tabel volgens een afnemende waarde voor de toxiciteitsindex TV_3 omdat deze index het best overeenkomt met het gehanteerde verdampingsmodel en aldus verwacht wordt dat deze index de beste maat is voor het berekende risico- en gevarenpotentieel van een toxische vloeistof.

Stofnaam	TV ₁	TV ₂	TV ₃	TV ₄
acroleïne	18019	19038	20432	20661
ethyleenimine	9071	7362	9122	7703
fosfortrichloride	2483	6426	6013	6491
broom	1795	5405	5367	5686
fosforoxychloride	1259	3637	3188	3541
methacrylonitril	1912	2417	2207	2392
crotonaldehyde (cis-)	1196	1580	1423	1554
propyleenimine	1122	1208	1275	1226
crotonaldehyde (trans-)	693	915	817	892
acrylonitril	500	500	500	500
allylchloride	260	376	418	429
allylalcohol	234	256	242	248
methylacrylaat	167	270	239	269
koolstofdissulfide	123	176	195	201
ethyleendibromide	49	173	143	167
benzotrichloride	46	168	133	162
dichloorethaan (1,2-)	52	96	99	95
tetrachloormethaan	39	112	92	113
dimethylsulfaat	36	86	73	82

²¹ Een bijkomende reden om de massadiffusiviteit niet mee op te nemen in de index is dat deze een geringer bereik kent dan de dampspanning en de toxiciteit, waardoor het belang van de massadiffusiviteit in de vergelijking van acuut (inhalatoir) toxische vloeistoffen ondergeschikt is aan dat van de twee andere stoffeigenschappen.

²² Omwille van hun hoge viscositeit bij omgevingstemperatuur, worden aniline en 2,4-tolueendiisocyanaat meestal opgeslagen en verladen bij een hogere temperatuur (typisch 35°C). Voor deze stoffen werden de toxiciteitsindices daarom bijkomend bepaald bij een temperatuur van 35°C.

Stofnaam	TV ₁	TV ₂	TV ₃	TV ₄
methylchloroacetaat	29	60	53	58
methaansulfonylchloride	25	55	52	53
benzalchloride	17	51	41	49
epichloorhydrine	24	41	41	40
hydrazine	44	27	34	26
tetraethyllood	8	48	33	46
glutaraldehyde	20	37	30	36
aniline (*)	11	19	17	19
benzylchloride	7	16	13	15
mercaptoethanol (2-)	8	11	10	11
fururyl alcohol	4	8	7	8
tolueendiisocyaanaat (2,4-)*	2,3	7,7	6,0	7,4
furfural	1,5	3	2	3
hexamethyleendiisocyaanaat (1,6-)	0,7	2	2	2
toluidine (o-)	0,5	1,1	0,9	1,0
nitrobenzeen	0,3	0,6	0,5	0,6
isoforondiisocyaanaat	0,1	0,6	0,4	0,6

(*) De toxiciteitsindices van deze stoffen zijn berekend bij een temperatuur van 35°C

Tabel 2.3.1.4.1 Berekende toxiciteitsindices voor de bestudeerde vloeistoffen bij 13°C

Een aspect van de effectmodellering waarmee geen rekening wordt gehouden in bovenstaande formules voor de toxiciteitsindices en dat een rol van betekenis kan spelen bij zeer vluchtige vloeistoffen is het afkoelen van de vloeistofplas als gevolg van het onttrekken van de verdampingswarmte uit de vloeistofplas. Door het afkoelen van de plas, zal ook het verdampingsdebiet (bron-debiet) en bijgevolg het gevaren- en risicopotentieel van de stof afnemen.

De mate waarin de vloeistof afkoelt tijdens het verdampen is afhankelijk van vele parameters waaronder het vrijzettingsdebiet, het verdampingsdebiet, de verdampingswarmte en warmtecapaciteit van de vloeistof, de plasdikte en de warmte die gewisseld wordt met de omgeving (o.a. ondergrond, luchtstroming, zonnestraling). Indien wordt aangenomen dat de vloeistof wordt opgeslagen bij omgevingstemperatuur en dat warmtewisselingen tussen de plas en de omgeving beperkt zijn, zal het afkoelen van de plas uitsluitend worden veroorzaakt door het verdampen van de vloeistof. Indien bijkomend wordt aangenomen dat de plasspreiding voor alle vloeistoffen min of meer gelijkaardig verloopt (i.e. zelfde evolutie van de plasdikte en -oppervlakte), dan wordt volgende evenredigheid gevonden voor de temperatuurdaling in de plas:

$$\Delta T_{plas} \sim \frac{\Delta H_v \cdot m_v}{\rho_{liq} \cdot c_{p,liq}} \sim \frac{\Delta H_v \cdot M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right) \cdot D^{0,52}}{\rho_{liq} \cdot c_{p,liq}} \quad (2.3.15)$$

waarin ΔH_v (J/kg) de verdampingswarmte, ρ_{liq} (kg/m³) de dichtheid van de vloeistof en $c_{p,liq}$ (J/kg.K) de warmtecapaciteit van de vloeistof zijn. De berekende waarden voor de groep van stoffeigenschappen uit het rechterlid van uitdrukking 2.3.15 worden voor de bestudeerde vloeistoffen weergegeven in tabel 2.3.1.4.1, tezamen met de berekende representatieve temperatuurdaling van de vloeistofplas voor enkele geselecteerde vrijzettingsscenario's uit de casestudie.

In se dient de toxiciteitsindex berekend te worden bij de (gemiddelde) plastemperatuur. Aangezien het praktisch onmogelijk is om de mate waarin een vloeistof afkoelt tijdens het verdampen te verwerken in de index, wordt de index gewoon berekend bij de initiële plastemperatuur. Op basis van de gegevens in tabel 2.3.1.4.1 kan wel worden ingeschat voor welke vloeistoffen het afkoelen van de plas tijdens het verdampen het meest²³ uitgesproken is. Voor deze vloeistoffen, die via een roze/rode achtergrondkleur worden aangeduid in de tabel, zal het effectieve gevaren- en risicopotentieel van de stof significant lager kunnen uitvallen dan verwacht op basis van zijn index. Wat maakt dat deze vloeistoffen best niet worden aangewend als een representatieve stof voor een groep van stoffen met een gelijkaardige index.

Een tweede aspect van de effectmodellering dat niet volledig²⁴ vervat zit in de formules voor de toxiciteitsindices is de relatie tussen de toxische dosis waaraan een persoon wordt blootgesteld en de kans op overlijden van die persoon als gevolg van de betreffende blootstelling (zie § 2.3.1.3 – schaderelaties). De probitfuncties van de bestudeerde toxische vloeistoffen worden grafisch weergegeven in figuur 2.3.1.4.1. Voor de meeste toxische vloeistoffen is het product van de probitconstanten b en n gelijk aan twee, waardoor het verband tussen de genormaliseerde concentratie²⁵ waaraan een persoon gedurende 30 minuten wordt blootgesteld en de bijhorende kans op doding identiek is (zie figuur 2.3.1.4.1).

Dit houdt verder in dat de verhouding tussen een LC_{x,30min} waarde en de LC_{y,30min} waarde van al deze stoffen (met b·n = 2) dezelfde²⁶ is en dat de keuze voor één of andere concentratiedrempel²⁷ in de formules van de toxiciteitsindices de onderlinge rangschikking van de toxische vloeistoffen op basis van een toxiciteitsindex aldus niet wijzigt²⁸.

²³ Alleszins meer uitgesproken dan andere vloeistoffen met een gelijkaardige toxiciteitsindex, d.w.z. stoffen die direct boven of onder de betreffende stof in tabel 2.3.1.4.2.

²⁴ In de toxiciteitsindices wordt de schaderelatie vertegenwoordigd door slechts één parameter, met name de LC_{01,30min} waarde, terwijl de schaderelatie voor toxische stoffen eigenlijk bepaald wordt door drie parameters, met name de probitconstanten a, b en n.

²⁵ De genormaliseerde concentratie betreft de werkelijke concentratie gedeeld door de LC_{01,30min} waarde van de betreffende toxische vloeistof.

²⁶ Voor alle toxische vloeistoffen waarvoor b·n = 2, geldt bijvoorbeeld dat de verhouding tussen de LC_{50,30min} en de LC_{01,30min} waarde gelijk is aan 3,2.

²⁷ Weliswaar gebaseerd op een blootstelling gedurende 30 minuten.

²⁸ Het feit dat bij de vrijzetting en verdamping van een toxische vloeistof de maximale concentratie op een bepaalde locatie in de omgeving na aankomst van de toxische wolk relatief snel wordt bereikt en vervolgens gedurende lang tijd (ca. 30 minuten) constant blijft, speelt uiteraard ook een belangrijke rol in dit verhaal.

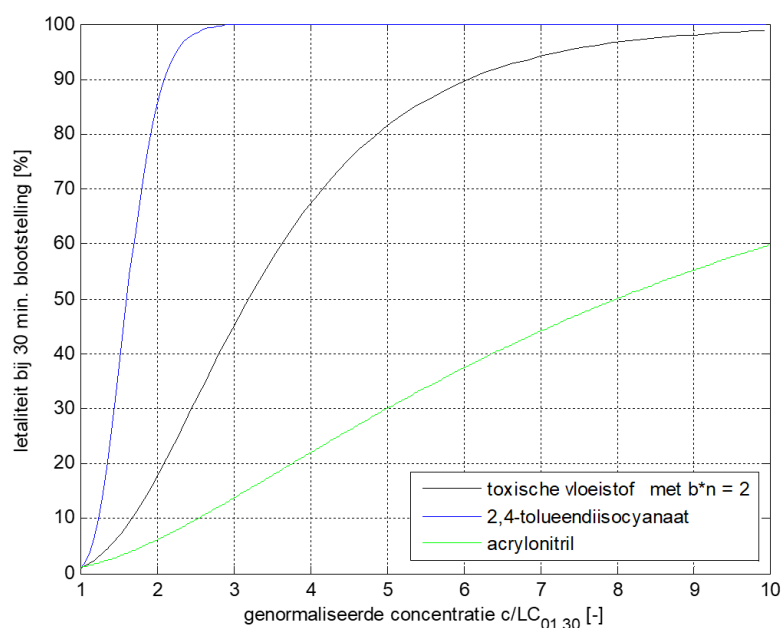
Berekende representatieve temperatuurdaling van de vloeistofplas voor enkele vrijzettingsscenario's								
Stofnaam	Groep van stoffeigenschappen	Tankenpark 1 ('middel-groot lek')	Tankenpark 2 ('middel-groot lek')	Tankenpark 3 ('middel-groot lek')	Tankenpark 4 ('middel-groot lek')	Stelplaats containers ('groot lek')	Scheepsverlading ('breuk slang – falende noodstop')	Tankwagenverlading ('breuk slang – falende noodstop')
acroleïne	10,5 .10 ⁻³	2,8	2,8	4,1	4,8	6,7	1,5	5,5
ethyleenimine	8,5 .10 ⁻³	2,3	2,3	3,5	4,1	5,8	1,4	4,7
fosfortrichloride	5,5 .10 ⁻³	0,8	0,8	1,2	1,4	2,0		1,6
broom	9,2 .10 ⁻³	2,2	2,1	3,2	3,6	5,1		4,2
fosforoxychloride	1,3 .10 ⁻³	-0,6	-0,6	-1,0	-1,2	-2,2		-1,3
methacrylonitril	2,4 .10 ⁻³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
crotonaldehyde (cis-)	2,2 .10 ⁻³	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,1	-0,3
propyleenimine	6,0 .10 ⁻³	1,3	1,2	1,9	2,2	3,2	0,7	2,6
crotonaldehyde (trans-)	1,3 .10 ⁻³	-0,5	-0,5	-0,8	-0,9	-1,8	-0,2	-1,1
acrylonitril	4,1 .10 ⁻³	0,6	0,6	0,8	1,0	1,5	0,3	1,2
allylchloride	19,1 .10 ⁻³	4,9	4,8	6,7	7,6	9,9	2,4	8,5
allylalcohol	0,8 .10 ⁻³	-0,5	-0,5	-0,8	-1,0	-1,9	-0,3	-1,1
methylacrylaat	3,0 .10 ⁻³	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,1	0,5
koolstofdisulfide	18,9 .10 ⁻³	4,7	4,6	6,4	7,2	9,3		8,1
ethyleendibromide	0,5 .10 ⁻³	-0,9	-0,9	-1,5	-1,8	-3,4		-2,1
benzotrichloride	0,02 .10 ⁻³	-1,2	-1,2	-2,0	-2,4	-4,5		-2,7
dichloorethaan (1,2-)	3,4 .10 ⁻³	0,3	0,3	0,5	0,5	0,9		0,7
tetrachloormethaan	4,5 .10 ⁻³	0,5	0,5	0,7	0,9	1,3		1,0
dimethylsulfaat	0,03 .10 ⁻³	-1,1	-1,0	-1,7	-2,1	-4,2		-2,4
methylchloracetaat	0,3 .10 ⁻³	-0,9	-0,9	-1,4	-1,8	-3,5		-2,1



Berekende representatieve temperatuurdaling van de vloeistofplas voor enkele vrijzettingsscenario's								
Stofnaam	Groep van stoffeigenschappen	Tankenpark 1 ('middel-groot lek')	Tankenpark 2 ('middel-groot lek')	Tankenpark 3 ('middel-groot lek')	Tankenpark 4 ('middel-groot lek')	Stelplaats containers ('groot lek')	Scheepsverlading ('breuk slang – falende noodstop')	Tankwagenverlading ('breuk slang – falende noodstop')
methaansulfonylchloride	0,1 .10 ⁻³	-1,2	-1,1	-1,9	-2,3	-4,3		-2,6
benzalchloride	0,02 .10 ⁻³	-1,3	-1,3	-2,0	-2,5	-4,6		-2,8
epichloorhydrine	0,7 .10 ⁻³	-0,8	-0,8	-1,2	-1,5	-2,9		-1,7
hydrazine	0,4 .10 ⁻³	-0,4	-0,4	-0,7	-0,9	-1,9	-0,2	-1,1
tetraethyllood	0,01 .10 ⁻³	-1,1	-1,1	-1,8	-2,2	-4,5		-2,6
glutaraldehyde	0,01 .10 ⁻³	-0,8	-0,8	-1,4	-1,8	-3,7	-0,3	-2,1
aniline (*)	0,1 .10 ⁻³	3,0	3,0	5,0	6,2	-10,1	-8,0	-15,2
benzylchloride	0,05 .10 ⁻³	-1,1	-1,1	-1,8	-2,2	-4,3		-2,5
mercaptoethanol (2-)	0,06 .10 ⁻³	-0,9	-0,9	-1,5	-1,9	-3,7		-2,2
fururylalcohol	0,02 .10 ⁻³	-0,8	-0,8	-1,3	-1,6	-3,3		-1,9
TDI (2,4-) (*)	0,00 .10 ⁻³	3,2	3,2	5,2	6,5	-9,9		-15,0
furfural	0,08 .10 ⁻³	-0,9	-0,9	-1,5	-1,9	-3,8		-2,2
HDMI (1,6-)	0,00 .10 ⁻³	-1,0	-1,0	-1,6	-2,0	-4,1		-2,3
toluidine (o-)	0,01 .10 ⁻³	-0,9	-0,9	-1,5	-1,8	-3,7	-0,4	-2,1
nitrobenzeen	0,01 .10 ⁻³	-1,0	-1,0	-1,7	-2,1	-4,1		-2,4
isoforondiisocynaat	0,00 .10 ⁻³	-1,0	-1,0	-1,5	-1,9	-3,6		-2,2

(*) Deze stoffen koelen sterk af omdat ze op een verhoogde temperatuur (35°C) worden vrijgezet op een ondergrond van 13°C.

Tabel 2.3.1.4.2 Representatieve temperatuurdaling van de vloeistof gedurende de plesspreiding en -verdamping



Figuur 2.3.1.4.1 Grafische weergave van de probitfuncties van de bestudeerde toxische vloeistoffen in de casestudie

Voor de toxische vloeistoffen waarvan het product van de probitconstanten b en n verschilt van twee (m.n. voor 2,4-toluendiisocyanaat en acrylonitril) is de vereenvoudigde voorstelling van de schaderelatie in de toxiciteitsindices (door slechts één parameter) mogelijks problematisch. Dit wordt verder geëvalueerd in de bestudeerde casestudie.

2.3.1.5 Resultaten van de effect- en risicoberekeningen

Het doel van de studie is een methode voor te stellen voor het bepalen van een representatieve stof voor een groep van gevaarlijke stoffen. Hiertoe dienen de gevaarlijke stoffen te kunnen worden gerangschikt volgens een afnemend risicopotentieel. Vandaar dat in de casestudies de risicoafstanden voor de verschillende stoffen worden berekend en vergeleken.

Het berekende risico wordt bekomen door een combinatie van de risico's van verschillende vrijzettingsscenario's (en mogelijk verschillende vervolgsenario's)²⁹ conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. Verder worden de effecten van de verschillende ongevalsscenario's berekend voor zes verschillende weertypes, elk met hun specifieke kans op voorkomen gedurende de dag en de nacht. Aangezien het grote aantal achterliggende berekeningen de analyse van de resultaten bemoeilijkt, worden ook de effectafstanden weergegeven voor één ongevalscenario, m.n. een ongevalscenario dat een belangrijke bijdrage levert aan het risico op het niveau van 10^{-5} tot $10^{-7}/j$. Doordat slechts voor enkele scenario's de effectafstanden

²⁹ Voor een atmosferische opslagtank in een inkuiping worden bijvoorbeeld vijf vrijzettingsscenario's beschouwd elk met zijn specifieke faalfrequentie (o.a. $5,0 \cdot 10^{-6}/j$ voor een catastrofale breuk van de tank en $2,4 \cdot 10^{-3}/j$ voor een klein lek aan de tank).

gegeven worden, is het mogelijk dat enkel effectafstanden van 0 m getoond worden en er toch een risicoafstand bekomen wordt.

2.3.1.5.1 Tankenparken

Tabellen 2.3.1.5.1 t.e.m. 2.3.1.5.4 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ voor de vier tankenparken die worden beschouwd in deze casestudie en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% voor personen buitenshuis voor het scenario van een middelgroot lek. De resultaten in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, gevolgd door $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ ³⁰.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	D50	E30	F20
acroleïne	1536	3464	4900	5906	1175	1960	5090
ethyleenimine	956	2298	3184	3802	740	1270	3280
fosfortrichloride	913	1976	2639	3056	765	1320	2840
broom	759	1511	2137	2461	630	1050	2160
fosforoxychloride	717	1551	2268	2579	615	1105	2510
methacrylonitril	549	1002	1742	2128	450	835	2050
crotonaldehyde (cis-)	397	688	950	1092	325	590	1045
propyleenimine	312	500	655	763	235	440	660
crotonaldehyde (trans-)	292	524	714	813	235	435	785
acrylonitril	130	276	438	526	135	280	470
methylacrylaat	118	195	261	292	75	170	270
allylalcohol	116	176	228	254	65	170	350
allylchloride	115	227	325	386	75	150	185
benzotrichloride	90	194	297	356	65	145	360
ethyleendibromide	83	153	213	239	45	115	225
koolstofdisulfide	61	94	119	136	0	70	90
dichloorethaan (1,2-)	49	83	106	119	0	55	100
dimethylsulfaat	44	98	161	194	0	65	195
tetrachloormethaan	44	71	86	94	0	60	80
methylchloracetaat	26	61	97	112	0	30	105

³⁰ De keuze om de stoffen te rangschikken op een afnemende risicoafstand tot $10^{-5}/j$ is min of meer arbitrair en ingegeven door het feit dat de berekende risicoafstanden tot $10^{-5}/j$ van de bestudeerde tankenparken reeds vrij groot zijn.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
benzalchloride	22	56	95	115	0	25	115
tetraethyllood	21	54	91	111	0	25	110
methaansulfonylchloride	21	52	85	103	0	20	90
epichloorhydrine	0	38	60	72	0	0	60
glutaraldehyde	0	33	58	69	0	0	65
hydrazine	0	22	39	50	0	0	35
aniline	0	0	0	0	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocyaan (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururyl alcohol	0	0	0	0	0	0	0
isoforondiisocyaan	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.1 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 9.000 m³ (6x 1.500 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	2246	4840	6944	8534	1595	2895	7075
fosfortrichloride	1432	2655	3632	4250	1090	1830	3815
ethyleenimine	1374	3190	4534	5546	1015	1710	4550
broom	1162	2182	2867	3358	900	1425	2855
fosforoxychloride	1061	2248	3050	3522	885	1530	3385
methacrylonitril	807	1755	2445	2855	640	1170	2640
crotonaldehyde (cis-)	569	1022	1664	2081	450	810	1895
propyleenimine	451	744	1013	1241	320	595	960
crotonaldehyde (trans-)	426	765	1084	1264	330	605	1245
acrylonitril	195	400	617	723	190	395	650
methylacrylaat	181	290	380	432	105	250	380

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
allylchloride	178	262	339	377	95	215	260
allylalcohol	170	324	454	552	105	230	465
benzotrichloride	138	290	436	515	95	215	510
ethyleendibromide	129	226	305	354	65	170	310
koolstofdisulfide	99	148	185	211	30	105	130
dichloorethaan (1,2-)	80	127	164	181	0	85	145
tetrachloormethaan	77	118	143	154	0	95	130
dimethylsulfaat	71	154	245	288	30	95	290
methylchloroacetaat	44	97	150	177	0	45	160
benzalchloride	40	92	152	178	0	45	175
tetraethyllood	39	90	148	175	0	45	175
methaansulfonylchloride	36	81	127	164	0	30	125
epichloorhydrine	0	63	96	120	0	0	90
glutaraldehyde	0	59	98	114	0	0	110
hydrazine	0	40	68	87	0	0	55
aniline	0	0	0	0	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocynaat (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururylalcohol	0	0	0	0	0	0	0
isoforondiisocynaat	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.2 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 18.000 m³ (6x 3.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	2916	6124	8944	> 9999	1750	4345	8295
fosfortrichloride	1877	3380	4766	5834	1340	3170	4485

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
ethyleenimine	1828	4050	6084	7618	1135	2140	5350
broom	1632	2761	3818	4480	1105	1810	3290
fosforoxychloride	1460	2817	3970	4916	1095	2080	3970
methacrylonitril	1144	2262	3146	3874	800	1455	3095
crotonaldehyde (cis-)	773	1551	2354	2818	530	910	2150
propyleenimine	575	1028	1553	2174	345	635	1415
crotonaldehyde (trans-)	561	1095	1626	2236	385	695	1700
acrylonitril	262	540	849	1077	220	460	865
methylacrylaat	251	398	529	601	125	310	465
allylchloride	240	363	459	552	95	240	280
allylalcohol	220	438	647	790	105	245	525
benzotrichloride	183	385	581	747	105	245	595
ethyleendibromide	174	304	422	490	70	190	355
koolstofdissulfide	138	212	262	320	0	110	145
tetrachloormethaan	117	174	227	244	0	125	175
dichloorethaan (1,2-)	112	178	240	262	0	90	165
dimethylsulfaat	97	211	330	441	0	110	335
methylchloroacetaat	61	134	216	273	0	40	175
tetraethyllood	58	130	209	262	0	50	220
benzalchloride	57	129	208	277	0	50	205
methaansulfonylchloride	48	109	187	238	0	0	110
epichloorhydrine	31	90	153	185	0	0	90
glutaraldehyde	20	84	139	181	0	0	135
hydrazine	0	56	108	137	0	0	50
aniline	0	0	0	0	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocynaat (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururylalcohol	0	0	0	0	0	0	0

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
isoforondiisocynaat	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.3 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 36.000 m³ (6x 6.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	3200	6748	> 9999	> 9999	1750	4345	8295
fosfortrichloride	2036	3820	5520	6724	1340	3170	4490
ethyleenimine	2010	4490	7004	8832	1135	2140	5355
broom	1776	3100	4406	5148	1105	1815	3295
fosforoxychloride	1591	3118	4618	5730	1095	2080	3980
methacrylonitril	1243	2497	3668	4542	800	1455	3100
crotonaldehyde (cis-)	835	1851	2734	3320	530	915	2165
propyleenimine	642	1249	2116	2491	345	635	1415
crotonaldehyde (trans-)	617	1284	2136	2568	385	695	1700
acrylonitril	290	611	1008	1429	220	460	870
methylacrylaat	283	459	636	727	125	310	465
allylchloride	280	430	548	699	95	240	280
allylalcohol	246	513	777	962	105	245	525
benzotrichloride	204	442	704	925	105	245	595
ethyleendibromide	195	352	500	571	70	190	355
koolstofdissulfide	163	251	318	391	0	110	145
tetrachloormethaan	138	215	281	304	0	125	175
dichloorethaan (1,2-)	131	213	282	315	0	90	165
dimethylsulfaat	110	243	398	529	0	110	335
methylchloroacetaat	71	158	263	325	0	40	175
benzalchloride	66	152	259	349	0	50	205
tetraethyllood	66	150	246	332	0	55	225
methaansulfonylchloride	56	130	222	276	0	0	110
epichloorhydrine	42	110	185	219	0	0	90

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'middelgroot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
glutaraldehyde	35	100	176	234	0	0	135
hydrazine	0	70	130	165	0	0	50
aniline	0	0	0	47	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocynaat (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururylcohol	0	0	0	0	0	0	0
isoforondiisocynaat	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.4 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 60.000 m³ (6x 10.000 m³)

Op basis van de bovenstaande tabellen wordt geconcludeerd dat het niet mogelijk is om de toxische vloeistoffen zodanig te rangschikken dat de berekende risicoafstanden en effectafstanden voor alle weerklassen en alle vrijzettingsscenario's monotoon afnemen³¹.

Er wordt wel vastgesteld dat het gevaren- of risicopotentieel van de opslag van toxische vloeistoffen vrij goed³² kan worden ingeschat met de vier vooropgestelde toxiciteitsindices. De stoffen waarvoor de toxiciteitsindices te hoog worden geschat in vergelijking met de berekende risico- en effectafstanden (o.a. allylchloride en koolstofdissulfide) koelen in het algemeen sterker af tijdens de verdamping, hetgeen de foutieve inschatting verklaart (zie ook § 2.3.1.4).

2.3.1.5.2 Stelplaats tankcontainers

Tabel 2.3.1.5.5 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j voor een opstelplaats met 100 tankcontainers en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% voor personen buitenshuis voor het scenario van een groot lek. De resultaten in de tabel zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, gevolgd door 10⁻⁶/j en 10⁻⁷/j.

³¹ Een rangschikking van de toxische vloeistoffen op basis van de berekende max. effectafstanden voor weertype F20 blijkt af te wijken van een rangschikking op basis van de berekende max. effectafstanden voor weertype D50. De rangschikking op basis van een risicoafstand tot 10⁻⁶/j of 10⁻⁷/j, komt evenmin overeen met een rangschikking op basis van de risicoafstand tot 10⁻⁵/j.

³² De toxiciteitsindices geven bijvoorbeeld een te hoge waarde voor allylchloride, in vergelijking met allylcohol en koolstofdissulfide, in vergelijking met ethyleendibromide en benzotrifluoride. Index TV1 geeft een te lage waarde voor de stof fosforoxychloride in vergelijking met methacrylonitril en benzalchloride in vergelijking met epichloorhydrine en glutaraldehyde.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'groot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	471	1148	2696	3922	1025	1695	4525
fosfortrichloride	328	733	1560	2315	695	1200	2600
ethyleenimine	295	702	1523	2537	645	1120	2910
broom	273	589	1045	1801	565	945	1970
fosforoxychloride	263	604	1219	2051	565	1020	2330
methacrylonitril	191	451	836	1331	410	760	1920
crotonaldehyde (cis-)	133	319	585	832	290	535	940
crotonaldehyde (trans-)	97	238	451	636	215	400	710
propyleenimine	94	236	404	549	205	390	600
acrylonitril	37	105	222	372	120	250	430
methylacrylaat	37	93	163	228	65	150	245
allylalcohol	33	92	193	291	70	150	320
allylchloride	32	80	125	159	50	130	155
benzotrichloride	30	81	176	283	60	140	335
ethyleendibromide	24	68	133	192	40	105	205
dimethylsulfaat	0	40	90	153	0	60	185
koolstofdisulfide	0	38	64	80	0	60	75
dichloorethaan (1,2-)	0	37	67	90	0	50	90
tetrachloormethaan	0	33	58	73	0	50	70
methylchloracetaat	0	20	53	90	0	25	95
benzalchloride	0	19	52	93	0	25	105
tetraethyllood	0	19	51	92	0	25	105
methaansulfonylchloride	0	0	45	79	0	0	80
glutaraldehyde	0	0	32	59	0	0	65
epichloorhydrine	0	0	31	54	0	0	50
hydrazine	0	0	0	34	0	0	30
aniline	0	0	0	0	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocynaat (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'groot lek' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururylalcohol	0	0	0	0	0	0	0
isoforondiisocynaat	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.5 Effect- en risicoafstanden voor een stelplaats met 100 tankcontainers

Op basis van de bovenstaande tabel wordt vastgesteld dat het gevaren- en risicopotentieel van de opslag van toxische vloeistoffen in tankcontainers eveneens vrij goed³³ kan worden ingeschat met de toxiciteitsindices. De te hoge waarde voor de toxiciteitsindices van broom, propyleenimine, allylchloride en koolstofdissulfide in vergelijking met de berekende risicoafstanden kan worden verklaard door de argumenten die worden gegeven in § 2.3.1.4 (afkoelen van de vloeistofplas).

2.3.1.5.3 Verlaadslang schepen

Tabel 2.3.1.5.6 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j voor een 6" flexibele slang die gedurende 2.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het lossen van schepen en de berekende max. effectafstanden tot een letaliteit van 1% voor personen buitenshuis voor het scenario van een slangbreuk met falende noodstop. De resultaten in de tabel zijn gerangschikt volgens een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, gevolgd door 10⁻⁶/j en 10⁻⁷/j.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'breuk met falende noodstop' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	3416	6780	> 9999	> 9999	3570	8225	14580
ethyleenimine	2178	4456	7162	9152	2090	5125	9485
methacrylonitril	1147	2413	3646	4616	1370	3240	4775
crotonaldehyde (cis-)	751	1684	2614	3284	870	1570	3360
propyleenimine	594	1310	1976	2397	650	1125	2435
crotonaldehyde (trans-)	529	1267	1937	2441	600	1030	2505
acrylonitril	290	600	1219	1606	420	785	1630

³³ De indices geven o.a. een te hoge waarde voor ethyleenimine, in vergelijking met fosfortrichloride, voor propyleenimine, in vergelijking met trans-crotonaldehyde, voor allylchloride, in vergelijking met allylalcohol en methylacrylaat, en voor koolstofdissulfide, in vergelijking met ethyleendibromide en dimethylsulfaat.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'breuk met falende noodstop' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
allylchloride	279	427	582	632	255	435	620
methylacrylaat	240	416	615	780	210	460	790
allylalcohol	196	411	665	863	165	370	900
glutaraldehyde	0	0	21	30	0	0	25
hydrazine	0	0	0	0	0	0	0
aniline	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.6 Effect- en risicoafstanden voor een 6" flexibele losslang voor schepen

Op basis van de bovenstaande tabel wordt geconcludeerd dat het gevaren- of risicopotentieel van een scheepslossing van de toxische vloeistoffen goed³⁴ kan worden ingeschat met de toxiciteitsindices.

2.3.1.5.4 Verlaadslang tankwagens

Tabel 2.3.1.5.7 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j voor een 3" flexibele slang die gedurende 1.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het laden van tankwagens en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% voor personen buitenshuis voor het scenario van een slangbreuk met een falende noodstop. De resultaten in de tabel zijn gerangschikt volgens een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, gevolgd door 10⁻⁶/j en 10⁻⁷/j.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'breuk met falende noodstop' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
acroleïne	1310	2701	3882	4786	1185	1900	5005
ethyleenimine	823	1418	2539	3130	750	1290	3265
fosfortrichloride	800	1393	2193	2686	740	1275	2785
fosforoxychloride	682	1129	1900	2326	580	1045	2435
broom	616	966	1747	2127	620	1035	2170
methacrylonitril	513	819	1117	1660	430	795	1965
crotonaldehyde (cis-)	368	568	752	943	315	570	970

³⁴ De indices TV1 en TV3 geven een te hoge waarde voor methylacrylaat, in vergelijking met allylalcohol, en voor glutaraldehyde, in vergelijking met hydrazine, ten opzichte van de berekende risicoafstanden van 10⁻⁵/j en 10⁻⁶/j en de max. effectafstanden bij weertype D50 en E30.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario 'breuk met falende noodstop' [m]		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	D50	E30	F20
	crotonaldehyde (trans-)	285	446	572	708	225	420
propyleenimine	260	397	522	621	240	450	635
acrylonitril	124	242	334	452	135	270	465
allylalcohol	110	191	262	336	80	165	350
methylacrylaat	97	154	213	253	70	160	255
benzotrichloride	96	175	240	315	60	135	330
allylchloride	81	126	172	190	70	155	185
ethyleendibromide	79	130	173	214	45	110	215
dimethylsulfaat	48	93	131	167	0	55	175
koolstofdioxide	41	66	87	96	20	75	90
dichloorethaan (1,2-)	38	61	88	101	0	55	95
tetrachloormethaan	31	51	72	80	0	55	75
tetraethyllood	28	58	82	92	0	20	95
methylchloroacetaat	28	56	76	100	0	25	100
benzalchloride	25	53	77	97	0	25	100
methaansulfonylchloride	25	50	71	89	0	25	90
glutaraldehyde	12	35	50	58	0	0	60
epichloorhydrine	0	31	46	61	0	0	60
hydrazine	0	18	29	40	0	0	35
aniline	0	0	0	0	0	0	0
HMDI (1,6-)	0	0	0	0	0	0	0
tolueendiisocyaan (2,4-)	0	0	0	0	0	0	0
mercaptoethanol (2-)	0	0	0	0	0	0	0
benzylchloride	0	0	0	0	0	0	0
furfural	0	0	0	0	0	0	0
fururylalcohol	0	0	0	0	0	0	0
isoforondiisocyaan	0	0	0	0	0	0	0
nitrobenzeen	0	0	0	0	0	0	0
toluidine (o-)	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.1.5.7 Effect- en risicoafstanden voor een 3" flexibele laadslang voor tankwagens

Op basis van de bovenstaande tabel wordt geconcludeerd dat het gevaren- of risicopotentieel van een tankwagenbelading met toxische vloeistoffen opnieuw vrij goed kan worden ingeschat met de toxiciteitsindices. De te hoge waarde voor de toxiciteitsindex van broom, propyleenimine, allylchloride, koolstofdissulfide en epichloorhydrine in vergelijking met de berekende risico- en effectafstanden van respectievelijk fosforoxychloride (broom), trans-crotonaldehyde (propyleenimine), allylalcohol en methylacrylaat (allylchloride), ethyleendibromide en dimethylsulfaat (koolstofdissulfide) en epichloorhydrine (glutaraldehyde) kan opnieuw worden verklaard door de sterke afkoeling van de plassen tijdens het verdampen (zie § 2.3.1.4).

2.3.1.6 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen voor verschillende installatietypes wordt besloten dat het gevaren- of risicopotentieel van een toxische vloeistof vrij goed kan worden ingeschat met de vooropgestelde toxiciteitsindices.

Verder blijkt uit tabel 2.3.1.6.1, waarin de toxische vloeistoffen worden gerangschikt volgens een afnemende risicoafstand tot $10^{-5}/j$, gevolgd door $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ dat deze (met uitzondering van allylchloride en koolstofdissulfide) kunnen worden ingedeeld in groepen met een afnemend risicopotentieel.

Op basis van de uitgevoerde casestudie wordt een indeling met zes groepen, gebaseerd op de toxiciteitsindex TV_4 , voorgesteld. Voor elke groep wordt een specifieke representatieve stof aanbevolen (zie tabel 2.3.1.6.2).

Indien risicoberekeningen worden uitgevoerd met de referentiestof van een bepaalde groep, dan zijn de externe mensrisico's als representatief te aanzien voor alle stoffen die in dezelfde groep vallen en zijn ze als conservatief te aanzien voor alle stoffen in een lagere groep. Indien risicoberekeningen worden uitgevoerd voor een andere stof³⁵ in een bepaalde groep (bv. allylalcohol), dan zijn de externe mensrisico's als conservatief te aanzien voor alle stoffen in een lagere groep.

³⁵ Met uitzondering van allylchloride en koolstofdissulfide. Allylchloride en koolstofdissulfide zijn twee vloeistoffen die dermate sterk kunnen afkoelen tijdens het verdampen dat het berekende risico van deze stoffen lager kan uitvallen dan het berekende risico van een stof in een lagere indelingsgroep.

Tankenpark 1	Tankenpark 4	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Losslang tankwagens
acroleïne ethyleenimine fosfortrichloride broom fosforoxychloride methacrylonitril	acroleïne fosfortrichloride <i>ethyleenimine</i> broom fosforoxychloride methacrylonitril	acroleïne fosfortrichloride <i>ethyleenimine</i> broom fosforoxychloride methacrylonitril	acroleïne ethyleenimine methacrylonitril	acroleïne ethyleenimine fosfortrichloride fosforoxychloride <i>broom</i> methacrylonitril
crotonaldehyde (cis-) propyleenimine crotonaldehyde (trans-)	crotonaldehyde (cis-) propyleenimine crotonaldehyde (trans-)	crotonaldehyde (cis-) crotonaldehyde (trans-) <i>propyleenimine</i>	crotonaldehyde (cis-) propyleenimine crotonaldehyde (trans-)	crotonaldehyde (cis-) crotonaldehyde (trans-) <i>propyleenimine</i>
acrylonitril methylacrylaat allylalcohol <i>allylchloride</i>	acrylonitril methylacrylaat <i>allylchloride</i> allylalcohol	acrylonitril methylacrylaat allylalcohol <i>allylchloride</i>	acrylonitril allylchloride methylacrylaat allylalcohol	acrylonitril allylalcohol <i>methylacrylaat</i>
benzotrichloride <i>ethyleendibromide</i> <i>koolstofdisulfide</i> dichloorethaan (1,2-) dimethylsulfaat <i>tetrachloormethaan</i>	benzotrichloride <i>ethyleendibromide</i> <i>koolstofdisulfide</i> tetrachloormethaan dichloorethaan (1,2-) <i>dimethylsulfaat</i>	benzotrichloride <i>ethyleendibromide</i> dimethylsulfaat <i>koolstofdisulfide</i> <i>dichloorethaan (1,2-)</i> <i>tetrachloormethaan</i>		benzotrichloride <i>allylchloride</i> <i>ethyleendibromide</i> dimethylsulfaat <i>koolstofdisulfide</i> <i>dichloorethaan (1,2-)</i> <i>tetrachloormethaan</i>

Tankenpark 1	Tankenpark 4	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Losslang tankwagens
methylchloracetaat	methylchloracetaat	methylchloracetaat		tetraethyllood
benzalchloride	benzalchloride	benzalchloride		<i>methylchloracetaat</i>
tetraethyllood	tetraethyllood	tetraethyllood		benzalchloride
<i>methaansulfonylchloride</i>	<i>methaansulfonylchloride</i>	<i>methaansulfonylchloride</i>		<i>methaansulfonylchloride</i>
epichloorhydrine	epichloorhydrine	glutaraldehyde		glutaraldehyde
glutaraldehyde	glutaraldehyde	epichloorhydrine	glutaraldehyde	<i>epichloorhydrine</i>
hydrazine	hydrazine	hydrazine	hydrazine	hydrazine
aniline	aniline	aniline	aniline	aniline
benzylchloride	benzylchloride	benzylchloride		benzylchloride
mercaptoethanol (2-)	mercaptoethanol (2-)	mercaptoethanol (2-)		mercaptoethanol (2-)
fururylalcohol	fururylalcohol	fururylalcohol		fururylalcohol
TDI (2,4-)	TDI (2,4-)	TDI (2,4-)		TDI (2,4-)
furfural	furfural	furfural		furfural
HMDI (1,6-)	HMDI (1,6-)	HMDI (1,6-)		HMDI (1,6-)
toluidine (o-)	toluidine (o-)	toluidine (o-)	toluidine (o-)	toluidine (o-)
nitrobenzeen	nitrobenzeen	nitrobenzeen		nitrobenzeen
isoforondiisocynaat	isoforondiisocynaat	isoforondiisocynaat		isoforondiisocynaat

(*) De stoffen die in het cursief worden weergegeven in de tabel hebben een gevaren- en risicopotentieel dat lager uitvalt dan wat doet vermoeden op basis van de toxiciteitsindex. Dit is hoofdzakelijk te verklaren door het feit dat de vloeistoffen sterk kunnen afkoelen tijdens het verdampen (zie tabel 2.3.1.4.2) waardoor het verdampingsdebiet en bijgevolg ook het gevaren- en risicopotentieel van de stoffen in kwestie lager uitvalt dan wat doet vermoeden op basis van een index die bepaald wordt bij de vrijzettingstemperatuur (13°C).

Voor de stoffen die in rood cursief worden aangeduid (koolstofdissulfide en allylchloride) is bovenstaand gedrag zodanig uitgesproken dat het gevaren- en risicopotentieel van deze stoffen eerder overeenkomt met stoffen die op basis van de toxiciteitsindex TV_4 worden ingedeeld in een lagere indelingsgroep.

Tabel 2.3.1.6.1 Indeling van de toxische vloeistoffen op basis van de risicoafstanden tot $10^{-5}/j$ ($10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$) zoals berekend in de casestudie(*)



Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep T0	TV > 1.500	acroleïne	ethyleenimine ^(*) fosfortrichloride broom ^(*) fosforoxychloride methacrylonitril
Groep T1	1500 ≥ TV > 500	crotonaldehyde (cis-)	crotonaldehyde (trans-) propyleenimine ^(*)
Groep T2	500 ≥ TV > 200	acrylonitril	allylalcohol allylchloride ^(**) methylacrylaat ^(*) koolstofdisulfide ^(**)
Groep T3	200 ≥ TV > 75	benzotrichloride	ethyleendibromide 1,2-dichloorethaan ^(*) dimethylsulfaat tetrachloormethaan ^(*)
Groep T4	75 ≥ TV > 20	methylchloroacetaat	benzalchloride tetraethyllood methaansulfonylchloride epichloorhydrine ^(*) glutaraldehyde hydrazine
Groep T5	TV ≤ 20	niet relevant voor het extern mensrisico	aniline furfural furfurylalcohol hexamethyleendiisocyanaat 2-mercaptoethanol nitrobenzeen benzylchloride tolueendiisocyanaat isoforondiisocyanaat toluidine (o-)

(*) Doordat deze vloeistof sterk kan afkoelen tijdens de verdamping, kan het gevaren- en risicopotentieel voor de stof in kwestie lager uitvallen dan een stof met een lagere index in dezelfde indelingsgroep.

(**) Doordat deze vloeistof sterk kan afkoelen tijdens de verdamping, kan het gevaren- en risicopotentieel voor de stof in kwestie lager uitvallen dan een stof in een lagere indelingsgroep.

Tabel 2.3.1.6.2 Indeling van de toxische vloeistoffen in groepen met een afnemende impact op externe personen

2.3.2 Ontvlambare vloeistoffen

Ontvlambare vloeistoffen opgeslagen in atmosferische tanks vormen bij vrijzetting een vloeistof-plas. Directe ontsteking van deze plas leidt tot een plasbrand, terwijl de vertraagde ontsteking leidt tot een wolkbrand of gaswolkexplosie. De ontvlambaarheidsindex die hieronder zal afgeleid worden voor ontvlambare vloeistoffen houdt enkel rekening met de effecten en de risico's verbonden aan wolkbranden en gaswolkexplosies. In de casestudies waarvan de resultaten besproken

worden in deze sectie, zullen dan ook geen effecten of risico's berekend worden voor plasbranden. In bijlage 10.1 worden de casestudies vervolgens uitgebreid met effect- en risicoberekeningen voor plasbranden. De resultaten van de uitgebreide casestudies zullen in de conclusies van deze sectie verwerkt worden.

2.3.2.1 Bestudeerde stoffen

De (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen^{36,37} waarvoor in deze studie effect- en risicoberekeningen worden uitgevoerd, worden opgelijst in tabel 2.3.2.1.1. Bij de selectie van de stoffen is rekening gehouden met de representatieve ontvlambare vloeistoffen die in recente omgevingsveiligheidsrapporten werden geselecteerd of in beschouwing werden genomen in een selectieprocedure en met de keuze van de voorbeeldstoffen in de Nederlandse methodiek³⁸.

2.3.2.2 Bestudeerde installatie-onderdelen

De installaties die worden beschouwd in de casestudie 'Ontvlambare vloeistoffen' zijn installaties die typisch worden aangewend voor de op- of overslag van dergelijke vloeistoffen op een Seveso-inrichting. Concreet worden volgende installaties bestudeerd in de casestudie:

- een tankenpark met atmosferische opslagtanks
- een stelplaats (parking) voor tankcontainers
- een flexibele slang voor het lossen van schepen
- een flexibele slang voor het laden van tankwagens

Met betrekking tot het optreden van mogelijke vervolgsenario's wordt in de casestudie initieel enkel rekening gehouden met het optreden van wolkbranden en gaswolkexplosies³⁹. De resultaten van de casestudie 'Ontvlambare vloeistoffen', inclusief het scenario plasbrand, is opgenomen in bijlage 10.1.

³⁶ Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende categorieën van ontvlambare vloeistoffen (m.n. ontvlambare vloeistoffen categorie 1 en categorie 2). Het risico van deze stoffen wordt immers niet enkel bepaald door het vlampunt van de stof, maar ook door de dampspanning van de stof. Bijgevolg kunnen licht ontvlambare vloeistoffen (categorie 2) aanleiding geven tot grotere effect- en risicoafstanden dan zeer licht ontvlambare vloeistoffen (categorie 1).

³⁷ Voor ontvlambare vloeistoffen categorie 3 wordt niet verwacht dat ze aanleiding kunnen geven tot het optreden van wolkbranden en gaswolkexplosies. Voor deze vloeistoffen (met een vlampunt gelegen tussen 23°C en 60°C) werden dan ook geen berekeningen uitgevoerd in deze casestudie.

³⁸ Bij het bepalen van de risico's van het transport van gevaarlijke stoffen in Nederland worden ontvlambare stoffen in een beperkt aantal stofcategorieën samengenomen (m.n. categorie LF1 en LF2) en wordt in de risicoanalyse een voorbeeldstof per categorie gehanteerd (m.n. heptaan voor LF1 en pentaan voor LF2). Bij het bepalen van de risico's van stuwadoorsbedrijven worden dezelfde stofcategorieën gehanteerd maar worden andere voorbeeldstoffen aangewend (m.n. nonaan voor LF1 en hexaan voor LF2).

³⁹ De effecten van een plasbrand reiken over het algemeen minder ver dan voor een wolkbrand en gaswolkexplosie en zijn bijgevolg hoofdzakelijk relevant voor de ligging van de 10⁻⁵/j contour. Bovendien worden de effecten van een plasbrand door andere stoffeigenschappen bepaald, dan deze die relevant zijn met betrekking tot de vorming van brandbare wolken.

stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Kookpunt [°C]	Vloeistofdichtheid bij 13°C [kg/m³]	Dampdichtheid bij 13°C [kg/m³]	Dampspanning bij 13°C [mbar]	Diffusiecoëfficiënt in lucht [m²/s]	Vlam-punt [°C]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	ΔH _c [MJ/kg]	Seveso III cat.
aceton	67-64-1	58,1	56,3	800,1	2,6	179,3	9,51E-06	-20,0	2,6	13,0	28,6	P5C
benzeen	71-43-2	78,1	80,1	884,9	3,5	70,6	8,16E-06	-11,2	1,2	8,0	40,1	P5C
cyclohexaan	110-82-7	84,2	80,7	783,8	3,8	74,3	7,21E-06	-17,2	1,3	7,8	43,4	P5C
cyclopentaan	287-92-3	70,1	49,3	751,7	3,1	258,1	8,81E-06	-37,2	1,5	8,9	43,8	P5C
cyclopenteen	142-29-0	68,1	44,2	779,2	3,0	310,0	9,03E-06	-29,2	1,5	12,1	43,2	P5C
diethylether	60-29-7	74,1	34,4	721,8	3,3	443,3	8,37E-06	-45,0	1,7	46,0	33,8	P5A
dimethylsulfide	75-18-3	62,1	37,3	855,9	2,7	398,9	1,01E-05	-36,0	2,2	19,7	28,1	P5C
ethanol	64-17-5	46,1	78,3	796,4	2,0	38,2	1,10E-05	13,0	3,3	19,0	26,8	P5C
ethylacetaat	141-78-6	88,1	77,1	907,6	4,0	67,2	8,12E-06	-4,1	2,2	11,5	23,4	P5C
ethylmercaptaan ⁽¹⁾	75-08-1	62,1	35,0	846,7	2,7	436,5	1,01E-05	-39,2	2,8	18,0	27,9	P5A
ethyl tert-butylether	637-92-3	102,2	72,5	748,6	4,7	95,2	6,87E-06	-20,0	1,0	6,8	36,3	P5C
heptaan (n-)	142-82-5	100,2	98,4	691,6	4,7	32,3	6,56E-06	-4,1	1,1	6,7	44,6	P5C
hexaan (n-)	110-54-3	86,2	68,7	666,7	3,9	117,0	7,13E-06	-23,0	1,2	7,2	44,7	P5C
hexeen (1-)	592-41-6	84,2	63,5	680,4	3,8	140,0	7,25E-06	-26,0	1,2	7,9	44,4	P5C
isopreen ^(2,5)	78-79-5	68,1	34,1	688,4	3,0	461,3	8,21E-06	-48,2	1,5	8,9	43,8	P5A
methanol	67-56-1	32,0	64,7	801,0	1,4	87,0	1,42E-05	11,0	7,2	36,5	19,9	P5C
methylethylketon	78-93-3	72,1	79,6	812,5	3,3	68,1	8,55E-06	-9,0	1,8	11,0	31,5	P5C
methyl-tert-butylether	1634-04-4	88,1	55,1	748,6	4,0	197,5	7,51E-06	-29,0	1,2	8,4	35,3	P5C
neohexaan ⁽³⁾	75-83-2	86,2	49,7	655,5	3,9	263,1	7,13E-06	-42,2	1,2	7,0	44,6	P5C
neohexeen ⁽⁴⁾	558-37-2	84,2	41,2	660,2	3,8	359,5	7,25E-06	-32,0	1,2	9,0	44,3	P5C
pentaaan (iso-)	78-78-4	72,1	27,8	628,5	3,2	588,3	7,88E-06	-55,2	1,4	7,6	44,9	P5A
pentaaan (n-) ⁽⁶⁾	109-66-0	72,1	36,1	633,6	3,2	428,7	7,79E-06	-49,0	1,4	7,8	45,0	P5C
penteen (1-)	109-67-1	70,1	30,1	648,3	3,1	538,2	8,04E-06	-51,2	1,4	8,7	44,6	P5A



stofnaam	CAS - nummer	Molaire massa [g/mol]	Kookpunt [°C]	Vloeistof-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	Damp-dichtheid bij 13°C [kg/m ³]	Damp-spanning bij 13°C [mbar]	Diffusie-coëfficiënt in lucht [m ² /s]	Vlam-punt [°C]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	ΔH _c [MJ/kg]	Seveso III cat.
propanol (iso-)	67-63-0	60,1	82,2	793,4	2,7	26,4	9,58E-06	12,0	2,0	12,7	30,5	P5C
propylacetaat (iso-)	108-21-4	102,1	88,5	882,0	4,7	43,2	7,34E-06	1,7	1,8	7,2	26,0	P5C
propylamine (iso-)	75-31-0	59,1	31,8	696,9	2,6	471,4	9,49E-06	-37,0	2,0	10,4	36,5	P5A
propylmercaptaan	75-33-2	76,2	52,6	821,6	3,4	221,0	8,70E-06	-34,2	1,8	100,0	30,7	P5C
tetrahydrofuraan	109-99-9	72,1	66,0	892,6	3,2	123,9	9,52E-06	-14,0	2,0	11,8	32,2	P5C
triethylamine	121-44-8	101,2	88,8	735,2	4,7	50,3	6,82E-06	-11,0	1,2	8,0	39,9	P5C
vinylacetaat	108-05-4	86,1	72,5	940,8	3,9	83,2	8,29E-06	-7,8	2,6	13,4	22,7	P5C

(1) Ook gekend als ethaanthiol

(2) Ook gekend als 2-methyl-1,3-butadiëen

(3) Ook gekend als 2,2-dimethylbutaan

(4) Ook gekend als 3,3-dimethyl-1-buteen

(5) Waarden van de onderste explosiegrens van isopreen variëren in de literatuur van 1,0 tot 2,0 vol%

(6) Waarden van de onderste explosiegrens van n-pentaaan variëren in de literatuur van 1,1 tot 1,5 vol%

Tabel 2.3.2.1.1 Selectie van ontvlambare vloeistoffen die worden bestudeerd in de casestudie 'Ontvlambare vloeistoffen'



TANKENPARKEN – In de casestudie worden zeven VLAREM-conforme tankenparken bestudeerd met een opslagcapaciteit tussen 9.000 en 200.000 m³. De specificaties van de beschouwde tankenparken worden opgelijst in onderstaande tabel. Bij de bepaling van de kuipdimensies werd een minimale onderlinge afstand tussen de tanks van vijf meter gehanteerd. Met betrekking tot de ondergrond van de kuip wordt uitgegaan van beton (h_p waarde: 5 mm).

Tankenpark	# tanks	Volume tank [m ³]	Capaciteit [m ³]	Hoogte tank [m]	Diameter tank [m]	Max. aansluitdiameter [mm]	Hoogte kuipmuur [m]	Kuippoppervlakte (bruto/netto) [m ²]
TP1	6	1.500	9.000	15	11,28	200	3	2.000 / 1.400
TP2	6	3.000	18.000	15	15,96	300	3	4.000 / 2.800
TP3	6	6.000	36.000	15	22,57	300	3	8.000 / 5.600
TP4	6	10.000	60.000	15	29,13	300	3,5	11.905 / 7.905
TP5	4	20.000	80.000	20	35,668	500	3,5	14.429 / 10.429
TP6	4	35.000	140.000	20	47,20	500	4,5	20.806 / 13.806
TP7	4	50.000	200.000	20	56,42	500	4,5	29.722 / 19.722

Tabel 2.3.2.2.1 Specificaties van de beschouwde tankenparken in de casestudie ‘Ontvlambare vloeistoffen’

STELPLAATS TANKCONTAINERS – In de casestudie wordt verder een stelplaats met driehonderd 20-voet tankcontainers bestudeerd. De tankcontainers hebben een volume van 24.000 liter, een diameter van 2,5 m, een maximale aansluitdiameter van 80 mm en zijn voor 95% gevuld. De tankcontainers staan op een vlakke betonnen ondergrond (h_p waarde: 5 mm). De maximale plasoppervlakte wordt bij een incidentele vrijzetting uit de tankcontainer door de aanwezige opvangvoorzieningen beperkt tot 1.200 m².

VERLAADSLANG SCHEPEN – Met betrekking tot de overslag van ontvlambare vloeistoffen wordt in de casestudie een 6” (150 mm) flexibele losslang voor schepen bestudeerd. Het nominaal verladingsdebiet en de druk in de slang bedragen respectievelijk 500 m³/h en 5 barg. Bij een incidentele vrijzetting kan de slang via een noodstop door de toezichthoudende operator worden ingeblokt (reactietijd: 120 s, faalkans: 0,1 per aanspraak).

Er wordt verder aangenomen dat het incidenteel vrijgezette product volledig in het water terechtkomt, dat het product niet oplost in het water maar een drijfslag vormt op het water⁴⁰. De flexibele losslang wordt 2.000 uren per jaar gebruikt.

VERLAADSLANG TANKWAGENS – Tot slot wordt in de casestudie een 3” (80 mm) flexibele laadslang voor tankwagens bestudeerd. Het nominaal verladingsdebiet en de druk in de slang bedragen respectievelijk 100 m³/h en 5 barg. Bij een incident kan de slang via een noodstop door de toezichthoudende operator worden ingeblokt (reactietijd: 120 s, faalkans: 0,1 per aanspraak).

⁴⁰ In werkelijkheid zullen bepaalde (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen oplossen in water. In veiligheidsrapporten wordt bij het modelleren van de effecten van een vrijzetting van een representatieve vloeistof op water dikwijls abstractie gemaakt van de oplosbaarheid van de vloeistof.

Er wordt verder aangenomen dat het incidenteel vrijgezette product terechtkomt op een vlakke betonnen ondergrond (h_p waarde: 5 mm). De maximale plasoppervlakte wordt bij een incidentele vrijzetting beperkt tot 1.200 m². Er wordt aangenomen dat de flexibele laadslang gedurende 1.000 uren per jaar wordt gebruikt.

2.3.2.3 Rekenmethode en aangewende modellen

Voor het bepalen van de vrijzettingsdebiëten, verdampingsdebiëten en het dispersiegedrag van de (zeer) licht ontvlambare dampen in de omgeving worden dezelfde modellen aangewend als voor toxische vloeistoffen (zie § 2.3.1.3).

WOLKBRAND – De brandbare wolk (afgebakend door de LEL-contour) met de grootste geprojecteerde oppervlakte op grondniveau (uitgedrukt in m²) wordt weerhouden als resultaat van de berekening. Binnen deze geprojecteerde oppervlakte wordt voor het scenario wolkbrand aangenomen dat iedereen dood is (100% letaliteit). Buiten de grootste wolk wordt de letaliteit gelijk gesteld aan nul.

De gerapporteerde maximale effectafstand is gelijk aan de maximale afstand tussen het centrum van de vrijzettingslocatie en de afbakeningscontour van deze grootste wolk (LEL-contour).

GASWOLKEXPLOESIE – De wolk met de grootste brandbare massa (massa begrepen tussen de LEL- en UEL-contour) wordt weerhouden als resultaat van de dispersieberekening. Het aangrijpingspunt van de explosie wordt gelijkgesteld aan het volumetrisch centrum van de brandbare wolk. De maximale explosieoverdruk in functie van de afstand tot het explosiecentrum wordt berekend met het multi-energiemodel uitgaande van de berekende brandbare massa in de wolk, een massafractie van 12% die deelneemt aan de explosie (fractie van de wolk die ingesloten is) en explosieklasse (curve) 7.

De gerapporteerde maximale effectafstand is gelijk aan de maximale afstand tussen het centrum van de vrijzettingslocatie en de 1%-letaliteitscontour.

SCHADEFUNCTIES – De schadefuncties en -criteria die worden toegepast bij de uitwerking van de casus worden weergegeven in onderstaande tabel.

Ongeval-scenario	Fysisch effect	Schadefunctie	Criterium voor maximale effectafstand (1% letaliteit)
Wolkbrand	Verbranding	100% in de wolk 0% buiten de wolk	Afstand tot LEL op het moment dat de wolk een maximale oppervlakte heeft
Gaswolkexplosie	Overdruk	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	p = 56 mbar

Tabel 2.3.2.3.1 Aangewende schadefuncties bij de bepaling van het extern mensrisico

2.3.2.4 Ontvlambaarheidsindices

Naar analogie met de toxiciteitsindices (zie § 2.3.1.4) kunnen ook voor (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen enkele ontvlambaarheidsindices worden voorgesteld die een maat zijn voor het gevaren- of het risicopotentieel van een (zeer) licht ontvlambare vloeistof en die kunnen worden

aangewend voor de selectie van een representatieve stof uit een gamma van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen.

Op basis van de eerder beschreven rekenmodellen (zie § 2.3.1.3), kan een eerste ontvlambaarheidsindex, OV_1 , worden afgeleid die sterk⁴¹ lijkt op de toxiciteitsindex TV_3 :

$$OV_1 = C_1 \cdot \frac{M \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right) \cdot D^{0,52}}{M \cdot LEL} = C_1 \cdot \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right) \cdot D^{0,52}}{LEL} \quad (2.3.17)$$

waarin p_s (Pa) de dampspanning van de ontvlambare vloeistof is, p_a (Pa) de omgevingsdruk, D (m²/s) de massadiffusiviteit van de damp in lucht en LEL (mol%) de onderste explosiegrens van de betreffende stof in de lucht en C_1 een constante die gelijkgesteld⁴² wordt aan $5,7693 \cdot 10^{-5}$. In de teller staan de producteigenschappen die bepalend zijn voor het volumetrisch verdampingsdebiet van de licht ontvlambare vloeistof. In de noemer staat een volumetrische concentratiedrempel die bepalend is voor de omvang van de brandbare wolk die zich kan vormen in geval van een incidentele vrijzetting.

Andere indices, OV_2 en OV_3 , kunnen naar analogie met de toxiciteitsindices (voor bijkomende achtergrondinformatie zie dan ook § 2.3.1.4) worden afgeleid van bovenstaande index en zijn in feite vereenvoudigde versies van deze ontvlambaarheidsindex.

$$OV_2 = C_2 \cdot \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{p_s}{p_a}}\right)}{LEL} \quad (2.3.18)$$

$$OV_3 = C_3 \cdot \frac{p_s}{LEL} \quad (2.3.19)$$

De waarden van de constanten C_2 en C_3 worden gelijkgesteld⁴² aan respectievelijk 1272,68 en 0,01633.

Tabel 2.3.2.4.1 geeft een overzicht van de berekende ontvlambaarheidsindices van de bestudeerde (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen voor een op- of overslagtemperatuur van 13°C. De stoffen zijn gerangschikt in de tabel volgens een afnemende waarde voor de ontvlambaarheidsindex OV_1 omdat deze index het best overeenkomt met het gehanteerde verdampingsmodel en aldus verwacht wordt dat deze index de beste maat is voor het berekende risico- en gevarenpotentieel van een ontvlambare vloeistof.

⁴¹ De molaire massa die voorkomt in de toxiciteitsindex TV_3 , is niet langer opgenomen in de ontvlambaarheidsindex OV_1 omdat de relevante concentratiedrempel voor licht ontvlambare vloeistoffen (onderste explosiegrens) een volumetrische concentratiedrempel betreft.

⁴² De constanten werden zodanig gekozen dat de toxiciteitsindices van n-pentaaan (een vaak gekozen representatieve licht ontvlambare vloeistof) steeds gelijk is aan 500.

stofnaam	OV ₁	OV ₂	OV ₃
pentaan (iso-)	795	790	686
penteen (1-)	700	689	628
isopreen	530	515	502
pentaan (n-)	500	500	500
neohexeen	448	465	489
diethylether	447	431	426
propylamine (iso-)	441	398	385
cyclopenteen	335	310	338
dimethylsulfide	331	289	296
neohexaan	305	319	358
ethylmercaptaan	293	256	255
cyclopentaan	266	249	281
methyl-tert-butylether	220	224	262
propylmercaptaan (iso-)	184	174	200
hexeen (1-)	152	158	191
hexaan (n-)	124	130	159
ethyltert-butylether	114	122	151
aceton	106	95	113
tetrahydrofuraan	92	83	101
benzeen	78	77	96
cyclohexaan	72	75	93
methylethylketon	52	49	62
triethylamine	50	54	68
vinylacetaat	43	42	52
ethylacetaat	41	40	50
heptaan (n-)	36	39	50
propylacetaat (iso-)	31	31	40
methanol	22	16	20
propanol (iso-)	19	17	22
ethanol	18	15	19

Tabel 2.3.2.4.1 Berekende ontvlambaarheidsindices voor de bestudeerde vloeistoffen

Een aspect van de effectmodellering waarmee geen rekening wordt gehouden in bovenstaande formules voor de ontvlambaarheidsindices en dat een rol van betekenis kan spelen bij zeer

vluchtige vloeistoffen is het afkoelen van de vloeistofplas als gevolg van het onttrekken van de verdampingswarmte uit de vloeistofplas (zie ook § 2.3.1.4).

Door het afkoelen van de plas, zal ook het verdampingsdebiet (brondebiet) en bijgevolg het gevaren- en risicopotentieel van de stof afnemen. In se dient de ontvlambaarheidsindex berekend te worden bij de (gemiddelde) plastemperatuur. Aangezien het praktisch onmogelijk is om (een schatting voor) de temperatuurdaling te berekenen op basis van de stoffeigenschappen, wordt de index evenwel berekend bij de initiële plastemperatuur, zijnde de opslagtemperatuur.

Op basis van de gegevens in tabel 2.3.2.4.2 kan wel worden ingeschat voor welke vloeistoffen het afkoelen van de plas tijdens het verdampen het meest⁴³ uitgesproken is. Voor deze vloeistoffen, die via een roze/rode achtergrondkleur worden aangeduid in de tabel, zal het effectieve gevaren- en risicopotentieel van de stof lager kunnen uitvallen dan verwacht op basis van zijn index. Wat maakt dat deze vloeistoffen best niet worden aangewend als een representatieve stof voor een groep van stoffen met een gelijkaardige index.

Stofnaam	Groep van stoffeigenschappen	Representatieve temperatuurdaling van de plas [°C]			
		groot lek tankenpark 7	groot lek tankcontainers	breuk losslang schip	breuk laadslang tankwagen
pentaan (iso-)	1,6 .10 ⁻²	9,85	14,42	4,29	14,64
penteen (1-)	1,4 .10 ⁻²	9,16	11,53	3,91	14,07
isopreen	1,1 .10 ⁻²	7,90	10,21	3,35	12,94
pentaan (n-)	1,0 .10 ⁻²	7,32	9,48	2,99	12,01
neohexeen	8,3 .10 ⁻³	5,89	7,82	2,31	10,16
diethylether	9,6 .10 ⁻³	7,46	9,83	3,32	12,53
propylamine (iso-)	9,6 .10 ⁻³	8,04	10,60	3,94	5,35
cyclopenteen	7,7 .10 ⁻³	5,87	7,72	2,24	10,30
dimethylsulfide	8,8 .10 ⁻³	7,42	9,78	3,23	12,78
neohexaan	6,1 .10 ⁻³	4,21	5,69	1,55	7,82
ethylmercaptaan	9,9 .10 ⁻³	8,07	10,51	3,55	13,58
cyclopentaan	6,5 .10 ⁻³	4,84	6,41	1,77	8,73
methyl-tert-butylether	4,3 .10 ⁻³	3,05	4,35	1,17	6,14
propylmercaptaan (iso-)	4,8 .10 ⁻³	3,82	5,35	1,48	7,40
hexeen (1-)	3,3 .10 ⁻³	1,91	2,80	0,68	4,01
hexaan (n-)	2,7 .10 ⁻³	1,35	2,02	0,48	2,96

⁴³ Alleszins meer uitgesproken dan andere vloeistoffen met een gelijkaardige ontvlambaarheidsindex, d.w.z. stoffen die direct boven of onder de betreffende stof in tabel 2.3.2.4.2.

Stofnaam	Groep van stoffeigenschappen	Representatieve temperatuurdaling van de plas [°C]			
		groot lek tankenpark 7	groot lek tankcontainers	breuk losslang schip	breuk laadslang tankwagen
ethyltert-butylether	2,1 . 10 ⁻³	0,84	1,30	0,31	1,96
aceton	3,6 . 10 ⁻³	3,07	4,46	1,24	6,27
tetrahydrofuraan	2,8 . 10 ⁻³	1,98	2,88	0,72	4,13
benzeen	1,6 . 10 ⁻³	0,45	0,89	0,17	1,09
cyclohexaan	1,8 . 10 ⁻³	0,39	0,77	0,14	1,20
methylethylketon	1,4 . 10 ⁻³	0,42	0,69	0,17	1,07
triethylamine	1,1 . 10 ⁻³	-0,32	-0,59	-0,07	-0,72
vinylacetaat	1,7 . 10 ⁻³	0,78	1,26	0,32	1,90
ethylacetaat	1,4 . 10 ⁻³	0,41	0,68	0,16	1,05
heptaan (n-)	8,0 . 10 ⁻⁴	-0,99	-2,04	-0,22	-2,61
propylacetaat (iso-)	1,0 . 10 ⁻³	-0,42	-0,81	-0,10	-1,02
methanol	1,7 . 10 ⁻³	1,62	2,46	0,70	3,60
propanol (iso-)	6,4 . 10 ⁻⁴	-0,55	-1,10	-0,15	-1,44
ethanol	8,9 . 10 ⁻⁴	0,02	0,09	0,02	0,21

Tabel 2.3.2.4.2 Representatieve temperatuurdaling van de plas

2.3.2.5 Resultaten van de effect- en risicoberekeningen

Het berekende risico wordt bekomen door een combinatie van de risico's van verschillende vrijzettingsscenario's conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. De vervolgsenario's worden beperkt tot wolkbranden en gaswolkexplosies. Verder worden de effecten van de verschillende ongevalsscenario's berekend voor zes verschillende weertypes, elk met hun specifieke kans op voorkomen gedurende de dag en gedurende de nacht. Aangezien het grote aantal achterliggende berekeningen de analyse van de resultaten bemoeilijkt, worden ook de effectafstanden⁴⁴ weergegeven voor enkele ongevalsscenario's, m.n. de ongevalsscenario's die een belangrijke bijdrage leveren aan het risiconiveau van 10⁻⁶/j en in tweede instantie van 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j. Doordat slechts voor enkele scenario's de effectafstanden gegeven worden, is het mogelijk dat enkel effectafstanden van 0 m getoond worden en er toch een risicoafstand bekomen wordt.

⁴⁴ De effectafstanden worden slechts gegeven voor weertype E30 en F20. Voor de andere weertypes wordt voor het beschouwde scenario geen brandbare wolk gevormd in de omgeving.

2.3.2.5.1 Tankenparken

Tabellen 2.3.2.5.1 t.e.m. 2.3.2.5.7 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario's: groot lek – wolkbrand en groot lek – gaswolkexplosie) voor de zeven tankenparken die in beschouwing worden genomen in deze casestudie. De resultaten in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-6}/j$.

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	32	66	97	153	40	70	40	165
penteen (1-)	29	63	91	144	35	65	35	155
isopreen	21	55	77	126	20	60	20	140
pentaan (n-)	18	54	74	124	0	55	0	140
neohexeen	18	53	70	118	0	55	0	130
diethylether	14	48	63	102	0	55	0	110
propylamine (iso-)	14	47	64	107	0	50	0	120
cyclopenteen	14	43	55	101	0	45	0	110
neohexaan	12	42	52	95	0	45	0	105
dimethylsulfide	7	38	47	57	0	45	0	40
cyclopentaan	12	38	44	51	0	40	0	40
methyl-tert-butylether	7	33	39	43	0	40	0	35
ethylmercaptaan	0	26	39	49	0	30	0	30
propylmercaptaan (iso-)	0	25	31	35	0	30	0	30
hexeen (1-)	0	25	29	32	0	25	0	25
hexaan (n-)	0	0	0	21	0	0	0	0
aceton	0	0	0	0	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
ethyltert-butylether	0	0	0	0	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.1 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 9.000 m³ (6x 1.500 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	55	107	153	232	65	110	155	250
penteen (1-)	50	101	140	219	60	105	140	240
isopreen	38	88	120	193	40	90	40	215
pentaan (n-)	36	87	116	187	40	90	40	205
neohexeen	36	85	110	181	40	90	40	200
diethylether	31	80	105	163	35	85	30	180
propylamine (iso-)	25	76	104	166	0	80	0	185
cyclopenteen	24	70	92	156	0	75	0	170
neohexaan	23	68	88	149	0	75	0	165
dimethylsulfide	19	64	84	132	0	70	0	145
cyclopentaaan	21	62	82	139	0	65	0	155
methyl-tert-butylether	18	56	70	116	0	60	0	130
ethylmercaptaan	0	52	72	107	0	60	0	120
propylmercaptaan (iso-)	10	45	55	93	0	50	0	105
hexeen (1-)	3	42	49	54	0	45	0	45
hexaan (n-)	0	33	39	43	0	35	0	35
ethyltert-butylether	0	29	35	38	0	35	0	30
aceton	0	0	0	30	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.2 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 18.000 m³ (6x 3.000 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	77	155	235	324	90	160	205	345
penteen (1-)	70	149	218	307	80	150	180	330
isopreen	54	130	184	272	60	135	125	295
pentaan (n-)	52	129	178	268	55	135	55	295
neohexeen	53	128	168	258	60	135	60	285
diethylether	44	120	164	234	45	125	45	255
propylamine (iso-)	33	111	160	232	0	115	0	255
cyclopenteen	35	105	139	221	0	110	0	240
neohexaan	35	105	133	218	0	110	0	240
dimethylsulfide	31	97	133	188	0	100	0	205
cyclopentaan	30	94	121	203	0	100	0	225
methyl-tert-butylether	29	87	107	173	0	95	0	195
ethylmercaptaan	20	82	117	162	0	90	0	175
propylmercaptaan (iso-)	21	73	92	146	0	80	0	165
hexeen (1-)	17	69	86	147	0	75	0	165
hexaan (n-)	0	58	68	116	0	60	0	135
ethyltert-butylether	0	54	63	100	0	60	0	115
aceton	0	0	50	60	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	0	38	47	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.3 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 36.000 m³ (6x 6.000 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaaan (iso-)	88	191	297	387	110	195	240	410
penteen (1-)	84	181	274	365	100	185	220	390
isopreen	65	160	230	325	70	165	155	350
pentaaan (n-)	65	158	221	321	70	165	150	350
neohexeen	67	158	208	312	75	165	155	345
diethylether	54	147	205	280	55	155	55	300
propylamine (iso-)	36	136	201	276	0	140	0	300
cyclopenteen	36	130	172	268	0	135	0	295
neohexaan	36	130	164	266	0	135	0	295
dimethylsulfide	32	119	167	228	0	125	0	255
cyclopentaaan	31	117	149	243	0	120	0	270
methyl-tert-butylether	29	110	132	213	0	115	0	240
ethylmercaptaan	22	103	151	205	0	110	0	225
propylmercaptaan (iso-)	22	92	115	181	0	100	0	205
hexeen (1-)	17	87	104	178	0	90	0	200
hexaan (n-)	0	75	87	150	0	80	0	170
ethyltert-butylether	0	71	81	131	0	75	0	150

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek -			
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	wolkbrand	gaswolkexplosie		
				E30	F20	E30	F20	
aceton	0	48	67	79	0	50	0	50
tetrahydrofuraan	0	0	56	67	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.4 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 60.000 m³ (6x 10.000 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek -			
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	wolkbrand	gaswolkexplosie		
				E30	F20	E30	F20	
pentaan (iso-)	81	242	352	445	145	255	325	505
penteen (1-)	74	229	325	421	135	240	295	485
isopreen	60	201	272	374	110	210	235	435
pentaan (n-)	60	196	264	366	105	205	235	430
neohexeen	63	196	247	356	105	205	235	430
diethylether	56	181	240	323	90	195	195	375
propylamine (iso-)	40	171	239	321	70	180	135	370
cyclopenteen	0	160	203	304	0	170	0	365
neohexaan	0	159	192	296	55	170	55	350
dimethylsulfide	0	147	195	263	0	160	0	315
cyclopentaaan	0	142	175	276	0	150	0	330
methyl-tert-butylether	0	131	155	237	0	145	0	285
ethylmercaptaan	0	126	173	239	0	145	0	280
propylmercaptaan (iso-)	0	108	133	201	0	125	0	240

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
hexeen (1-)	0	105	122	203	0	115	0	240
hexaan (n-)	0	90	104	172	0	100	0	210
ethyltert-butylether	0	85	99	153	0	95	0	190
aceton	0	67	83	112	0	75	0	140
tetrahydrofuraan	0	59	70	86	0	70	0	65
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.5 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 80.000 m³ (4x 20.000 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	93	285	430	517	170	295	365	590
penteen (1-)	85	271	397	488	160	285	345	560
isopreen	69	236	333	431	125	245	275	505
pentaan (n-)	68	234	319	428	125	245	265	505
neohexeen	71	232	298	409	125	245	265	485
diethylether	63	214	295	376	110	230	220	435
propylamine (iso-)	42	202	291	372	80	215	155	435
cyclopenteen	0	191	246	348	60	200	60	415
neohexaan	0	190	232	345	70	205	70	410
dimethylsulfide	0	174	238	303	0	190	0	355
cyclopentaaan	0	169	211	320	0	180	0	385

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
methyl-tert-butylether	0	157	186	277	0	170	0	335
ethylmercaptaan	0	150	212	280	0	170	0	330
propylmercaptaan (iso-)	0	132	161	239	0	150	0	285
hexeen (1-)	0	125	147	239	0	135	0	285
hexaan (n-)	0	108	126	206	0	120	0	250
ethyltert-butylether	0	103	118	183	0	115	0	225
aceton	0	82	103	141	0	90	0	175
tetrahydrofuraan	0	75	91	124	0	85	0	155
benzeen	0	0	0	74	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.6 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 140.000 m³ (6x 35.000 m³)

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	108	346	544	644	200	360	425	695
penteen (1-)	99	330	502	595	190	345	405	660
isopreen	81	288	419	512	155	300	320	595
pentaan (n-)	80	287	407	508	150	300	320	595
neohexeen	83	286	379	489	155	300	320	575
diethylether	74	264	374	450	130	280	270	515
propylamine (iso-)	46	245	368	443	100	260	190	510
cyclopenteen	0	236	310	418	80	250	80	505

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
neohexaan	0	235	294	416	95	250	175	505
dimethylsulfide	0	214	303	366	0	230	0	435
cyclopentaan	0	211	266	382	0	225	0	455
methyl-tert-butylether	0	197	234	331	0	210	0	395
ethylmercaptaan	0	185	273	340	0	210	0	390
propylmercaptaan (iso-)	0	166	204	291	0	185	0	350
hexeen (1-)	0	158	184	293	0	170	0	350
hexaan (n-)	0	139	158	255	0	150	0	305
ethyltert-butylether	0	132	151	228	0	145	0	275
aceton	0	106	134	182	0	115	0	225
tetrahydrofuraan	0	98	118	166	0	115	0	205
benzeen	0	78	88	105	0	85	0	85
cyclohexaan	0	0	74	94	0	70	0	70
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.7 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 200.000 m³ (4x 50.000 m³)

Op basis van de berekende risico- en effectafstanden wordt geconcludeerd dat het gevaaren- of risicopotentieel van de opslag van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen in atmosferische tanks zeer goed kan worden ingeschat met de ontvlambaarheidsindex OV₁. Enkel voor dimethylsulfide en ethylmercaptaan wordt de ontvlambaarheidsindex te hoog ingeschat ten opzichte van de berekende risico's en effecten.

Een verklaring hiervoor wordt gegeven in § 2.3.2.4, waarin wordt aangegeven dat dimethylsulfide en ethylmercaptaan sterker afkoelen tijdens de verdamping dan de stoffen die een iets kleinere index hebben (o.a. neohexaan, cyclopentaan en methyl-tert-butylether). Als gevolg daarvan zal het effectieve verdampingsdebiet (brondebiet) van dimethylsulfide en ethylmercaptaan lager uitvallen

en zal het gevaren- en risicopotentieel van de stoffen in kwestie ook kleiner zijn dan hetgeen dat wordt vermoed op basis van de berekende ontvlambaarheidsindex bij 13°C.

Ook de eenvoudigere ontvlambaarheidsindices OV_2 en OV_3 lijken het gevaren- of risicopotentieel van de opslag van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen goed in te schatten. Bij gebruik van deze indices worden de ontvlambaarheidsindices van neohexaan wel te hoog ingeschat ten opzichte van de berekende risico's en effecten.

2.3.2.5.2 Stelplaats tankcontainers

Tabel 2.3.1.5.8 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario's: groot lek – wolkbrand en groot lek – gaswolkexplosie) voor een opstelplaats met 300 tankcontainers gevuld met (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen. De resultaten in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-7}/j$ en in tweede instantie van $10^{-8}/j$.

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	E30	F20	E30	F20
pentaaan (iso-)	0	38	63	88	0	45	0	110
penteen (1-)	0	36	60	86	0	45	0	110
isopreen	0	31	51	65	0	40	0	40
pentaaan (n-)	0	30	49	63	0	40	0	40
neohexeen	0	30	47	55	0	40	0	40
diethylether	0	25	44	52	0	35	0	35
propylamine (iso-)	0	24	44	52	0	35	0	35
cyclopenteen	0	26	39	44	0	35	0	35
neohexaan	0	25	37	42	0	35	0	35
dimethylsulfide	0	18	35	41	0	30	0	30
cyclopentaaan	0	23	34	39	0	30	0	30
methyl-tert-butylether	0	20	30	34	0	30	0	30
ethylmercaptaan	0	0	21	27	0	0	0	0
propylmercaptaan (iso-)	0	0	21	25	0	0	0	0
hexeen (1-)	0	0	21	25	0	0	0	0
aceton	0	0	0	0	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				groot lek - wolkbrand		groot lek - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
hexaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
ethyltert-butylether	0	0	0	0	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.8 Effect- en risicoafstanden voor een stelplaats met 300 tankcontainers

Op basis van bovenstaande tabel wordt geconcludeerd dat slechts een beperkte groep van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen aanleiding geeft tot de vorming van brandbare wolken bij een continue emissie van een vloeistof uit een tankcontainer.

Verder wordt geconcludeerd dat het gevaren- of risicopotentieel van de opslag van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen in tankcontainers goed kan worden ingeschat met de ontvlambaarheidsindex OV_1 , OV_2 of OV_3 , met uitzondering van de stoffen dimethylsulfide (OV_1), ethylmercaptaan (OV_1 en OV_2) en neohexaan (OV_2 en OV_3). De reden waarom deze vier stoffen een kleiner gevaren- en risicopotentieel hebben in vergelijking met hun berekende ontvlambaarheidsindices wordt gegeven bij de bespreking van de resultaten voor tankenparken.

2.3.2.5.3 Verlaadslang schepen

Tabel 2.3.1.5.9 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10^{-5} /j, 10^{-6} /j, 10^{-7} /j en 10^{-8} /j en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario's: breuk van de slang met noodstop – wolkbrand en gaswolkexplosie) voor een 6" flexibele slang die gedurende 2.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het lossen van schepen. De resultaten in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van 10^{-6} /j.

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario ... [m]			
					breuk slang (werkende noodstop) - wolkbrand		breuk slang (werkende noodstop) - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
pentaaan (iso-)	142	395	422	657	60	95	150	215
penteen (1-)	136	391	417	642	55	90	135	215
isopreen	123	358	382	603	45	80	40	190
pentaaan (n-)	118	345	369	581	40	80	40	180
neohexeen	117	334	358	564	35	75	35	170
diethylether	115	319	345	517	35	75	30	155
propylamine (iso-)	96	294	314	508	0	65	0	155
cyclopenteen	89	280	298	490	0	65	0	145
neohexaan	88	269	288	467	0	60	0	135
dimethylsulfide	86	260	281	426	0	60	0	130
cyclopentaaan	57	245	263	443	0	55	0	130
ethylmercaptaan	72	233	254	396	0	50	0	105
methyl-tert-butylether	47	230	246	384	0	50	0	110
propylmercaptaan (iso-)	38	195	214	337	0	45	0	40
hexeen (1-)	37	190	205	354	0	40	0	40
hexaan (n-)	28	164	179	307	0	30	0	30
ethyltert-butylether	0	150	164	263	0	0	0	0
aceton	0	133	146	237	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	111	124	197	0	0	0	0
benzeen	0	83	90	93	0	0	0	0
cyclohexaan	0	70	77	80	0	0	0	0
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.9 Effect- en risicoafstanden voor een 6" flexibele losslang voor schepen

Op basis van de bovenstaande tabel wordt geconcludeerd dat het gevaren- of risicopotentieel van een scheepslossing van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen opnieuw goed kan worden ingeschat met de ontvlambaarheidsindices OV_1 , OV_2 of OV_3 , met uitzondering van de stoffen dimethylsulfide (OV_1), ethylmercaptaan (OV_1 en OV_2) en neohexaan (OV_2 en OV_3).

2.3.2.5.4 Verlaadslang tankwagens

Tabel 2.3.1.5.10 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario: breuk noodstop faalt – wolkbrand en gaswolkexplosie) voor een 3" flexibele slang die gedurende 1.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het laden van tankwagens. De resultaten in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-7}/j$ en in tweede instantie van $10^{-8}/j$.

Product	Effectafstanden voor het scenario ... [m]							
	Risicoafstanden [m]				breuk slang (falende noodstop) - wolkbrand		breuk slang (falende noodstop) - gaswolkexplosie	
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	E30	F20	E30	F20
pentaan (iso-)	2	26	51	71	20	55	20	125
penteen (1-)	3	26	49	69	0	50	0	125
isopreen	2	23	44	62	0	45	0	110
pentaan (n-)	0	21	43	61	0	45	0	105
neohexeen	0	21	42	47	0	45	0	45
diethylether	0	10	37	41	0	40	0	40
cyclopenteen	0	19	36	40	0	40	0	35
propylamine (iso-)	0	19	35	39	0	35	0	35
neohexaan	0	10	35	39	0	35	0	35
cyclopentaan	0	16	32	36	0	35	0	35
dimethylsulfide	0	4	29	34	0	30	0	30
methyl-tert-butylether	0	5	28	32	0	30	0	30
hexeen (1-)	0	0	0	0	0	20	0	0
ethylmercaptaan	0	0	0	0	0	0	0	0
propylmercaptaan (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
hexaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
ethyltert-butylether	0	0	0	0	0	0	0	0
aceton	0	0	0	0	0	0	0	0
tetrahydrofuraan	0	0	0	0	0	0	0	0
benzeen	0	0	0	0	0	0	0	0
cyclohexaan	0	0	0	0	0	0	0	0

Product	Risicoafstanden [m]				Effectafstanden voor het scenario ... [m]			
					breuk slang (falende noodstop) - wolkbrand		breuk slang (falende noodstop) - gaswolkexplosie	
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	E30	F20	E30	F20
ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
ethylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0
propanol (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
propylacetaat (iso-)	0	0	0	0	0	0	0	0
methanol	0	0	0	0	0	0	0	0
methylethylketon	0	0	0	0	0	0	0	0
heptaan (n-)	0	0	0	0	0	0	0	0
triethylamine	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetaat	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2.3.2.5.10 Effect- en risicoafstanden voor een 3" flexibele laadslang voor tankwagens

Op basis van bovenstaande tabel wordt geconcludeerd dat opnieuw slechts een zeer beperkte groep van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen aanleiding geeft tot de vorming van een brandbare wolk bij een continue emissie van een vloeistof uit een 3" verlaadslang.

Met uitzondering van de stoffen die reeds eerder werden vermeld in voorgaande paragrafen (m.n. dimethylsulfide en ethylmercaptaan), kan het gevaren- of risicopotentieel van de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen bij een tankwagenbelading goed worden ingeschat met de ontvlambaarheidsindices.

2.3.2.6 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen (exclusief plasbranden) voor verschillende installatietypes wordt besloten dat het gevaren- of risicopotentieel van een (zeer) licht ontvlambare vloeistof goed kan worden ingeschat met de vooropgestelde ontvlambaarheidsindices⁴⁵.

In tabel 2.3.2.6.1 worden de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen gerangschikt volgens een afnemende risicoafstand tot 10⁻⁶/j (tankenparken en scheepsverlading) en 10⁻⁷/j (stelplaats tankcontainers en tankwagenverlading). Op basis van deze rangschikking wordt een indeling van de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen in vier groepen, gebaseerd op de ontvlambaarheidsindex OV₂, voorgesteld (zie tabel 2.3.2.6.2).

Indien risicoberekeningen worden uitgevoerd met de referentiestof uit een bepaalde groep, dan zijn de externe mensrisico's als representatief te aanzien voor alle stoffen die in dezelfde groep

⁴⁵ Het voordeel van ontvlambaarheidsindex OV₂ en OV₃ ten opzichte van OV₁, is dat de massadiffusiviteit van de (zeer) licht ontvlambare damp in de lucht niet gekend moet zijn voor het berekenen van de index.

vallen en als conservatief voor alle stoffen in een lagere groep. Indien risicoberekeningen worden uitgevoerd voor een andere stof in een bepaalde groep (bv. aceton), dan zijn de externe mensrisico's als conservatief te aanzien voor alle stoffen in een lagere groep.

Een uitzondering is toegelaten voor de hoogst vertegenwoordigde groep (groep F0). Voor deze groep kunnen de berekeningen uitgevoerd worden met een andere stof uit de groep. Dit impliceert evenwel een beperking in de stoffen die binnen de inrichting kunnen opgeslagen worden: indien de risicoberekeningen worden uitgevoerd voor een andere stof in groep F0 (bv. n-pentaan), dan is het externe mensrisico als conservatief te aanzien voor alle stoffen met een lagere ontvlambaarheidsindex. Dit maakt het mogelijk om een randvoorwaarde zoals "Er worden geen stoffen met een ontvlambaarheidsindex hoger dan 500 opgeslagen." in rekening te brengen in de QRA.

Voor de vloeistoffen uit de laagste indelingsgroep (groep F3) is de vorming van een brandbare wolk in de omgeving niet te verwachten bij een vrijzetting van de stof op omgevingstemperatuur. Voor deze vloeistoffen dient bijgevolg enkel het scenario van een plasbrand te worden bestudeerd.

	Tankenparken	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Laadslang tankwagens
Groep F0	pentaaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-)	pentaaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-)	pentaaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-)	pentaaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaaan (n-) neohexeen diethylether
Groep F1	cyclopenteen <i>neohexaan</i> dimethylsulfide cyclopentaaan methyl-tert-butylether <i>ethylmercaptaan</i> propylmercaptaan (iso-) hexeen (1-)	cyclopenteen <i>neohexaan</i> dimethylsulfide cyclopentaaan methyl-tert-butylether <i>ethylmercaptaan</i> propylmercaptaan (iso-) hexeen (1-)	cyclopenteen <i>neohexaan</i> dimethylsulfide cyclopentaaan <i>ethylmercaptaan</i> methyl-tert-butylether propylmercaptaan (iso-) hexeen (1-)	cyclopenteen <i>propylamine (iso-)</i> <i>neohexaan</i> cyclopentaaan <i>dimethylsulfide</i> methyl-tert-butylether <i>ethylmercaptaan</i> propylmercaptaan (iso-) hexeen (1-)
Groep F2	hexaaan (n-) ethyltert-butylether aceton tetrahydrofuraan benzeen cyclohexaan	hexaaan (n-) ethyltert-butylether aceton tetrahydrofuraan benzeen cyclohexaan	hexaaan (n-) ethyltert-butylether aceton tetrahydrofuraan benzeen cyclohexaan	hexaaan (n-) ethyltert-butylether aceton tetrahydrofuraan benzeen cyclohexaan

	Tankenparken	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Laadslang tankwagens
Groep F3	ethanol ethylacetaat heptaan (n-) methanol methylethylketon propanol (iso-) propylacetaat (iso-) triethylamine vinylacetaat	ethanol ethylacetaat heptaan (n-) methanol methylethylketon propanol (iso-) propylacetaat (iso-) triethylamine vinylacetaat	ethanol ethylacetaat heptaan (n-) methanol methylethylketon propanol (iso-) propylacetaat (iso-) triethylamine vinylacetaat	ethanol ethylacetaat heptaan (n-) methanol methylethylketon propanol (iso-) propylacetaat (iso-) triethylamine vinylacetaat

(*) De stoffen die in het cursief worden weergegeven in de tabel hebben een gevaren- en risicopotentieel dat lager uitvalt dan wat doet vermoeden op basis van de ontvlambaarheidsindex OV_2 . Dit is hoofdzakelijk te verklaren door het feit dat de vloeistoffen sterk kunnen afkoelen tijdens het verdampen (zie tabel 2.3.2.4.2) waardoor het verdampingsdebiet en bijgevolg ook het gevaren- en risicopotentieel van de stoffen in kwestie lager uitvalt dan wat doet vermoeden op basis van een index die bepaald wordt bij de vrijzettingstemperatuur (13°C). Voor de stof die in rood cursief worden aangeduid (isopropylamine) is bovenstaand gedrag zodanig uitgesproken dat het gevaren- en risicopotentieel van deze stof eerder overeenkomt met stoffen die op basis van de ontvlambaarheidsindex OV_2 wordt ingedeeld in een lagere indelingsgroep.

(**) Voor de stoffen met een lichtgrijze achtergrond waren de berekende effecten en risico's verwaarloosbaar.

Tabel 2.3.2.6.1 Indeling van de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen op basis van de risicoafstanden tot $10^{-6}/j$ en $10^{-7}/j$ zoals berekend in de casestudie (exclusief plasbranden)

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep F0	$OV_2 > 350$	pentaan (iso)-	<p>penteen (1-) isopreen pentaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-)</p>
Groep F1	$150 < OV_2 \leq 350$	cyclopenteen	<p>neohexaan dimethylsulfide cyclopentaan methyl-tert-butylether ethylmercaptaan propylmercaptaan (iso-) hexeen (1-)</p>
Groep F2	$70 < OV_2 \leq 150$	hexaan (n-)	<p>ethyltert-butylether aceton tetrahydrofuraan benzeen cyclohexaan</p>
Groep F3	$OV_2 \leq 70$	n-heptaan (enkel plasbranden)	<p>ethanol ethylacetaat heptaan (n-) methanol methylethylketon propanol (iso-) propylacetaat (iso-) triethylamine vinylacetaat</p>

Tabel 2.3.2.6.2 Indeling van de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen in groepen met een afnemende impact op externe personen (inclusief plasbranden)

Wanneer ook plasbranden in beschouwing worden genomen dan is het risicopotentieel van vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam (vloeistoffen met minder dan vijf koolstofatomen) veel groter dan verwacht op basis van bovenstaande ontvlambaarheidsindices (zie bijlage 10.1).

Daarom wordt voorgesteld om een aparte representatieve stof te kiezen voor het scenario plasbrand, voor zover de op- of overslag van vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam niet wordt uitgesloten (zie onderstaande tabel).

Indelingsgroep	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep PF0	diethylether	tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) dimethylsulfide vinylacetaat propylamine (iso-) ethylmercaptaan methylethylketon ethylacetaat aceton
Groep PF1	propanol (iso-)	ethanol
Groep PF2	methanol	-

Tabel 2.3.2.6.3 Indeling van vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam in groepen met afnemende plasbrandeffecten

Tot slot wordt opgemerkt dat de voorgestelde maximale stralingswarmteflux van 140 kW/m² voor de heldere delen van een vlam zoals opgenomen in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* een overschatting is voor de vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een volledig heldere vlam en mogelijk een onderschatting is voor bepaalde vloeistoffen die aanleiding geven tot roetende vlammen (zie § 10.1.5 in bijlage).

2.3.3 Tot vloeistof verdichte onvlambare gassen

2.3.3.1 Bestudeerde stoffen

De tot vloeistof verdichte onvlambare gassen waarvoor in deze studie effect- en risicoberekeningen worden uitgevoerd, worden opgelijst in tabel 2.3.3.1.1. De stoffen worden in deze en volgende tabellen gerangschikt op basis van het kookpunt, waarbij de stof met het laagste kookpunt bovenaan staat. Bij de selectie van de stoffen is rekening gehouden met de tot vloeistof verdichte onvlambare gassen waarvoor in recente omgevingsveiligheidsrapporten risicoberekeningen werden uitgevoerd alsook met de onvlambare gassen die zijn opgenomen in de Checklist Vloeibare brandbare gassen van de Directie van de chemische risico's (2002). De stoffeigenschappen zijn onttrokken uit de DIPPR-database, versie 2018.

stofnaam	CAS - nummer	kookpunt [°C]	dampspanning bij 13°C [bara]	Vloeistofdichtheid bij 13°C [kg/m ³]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	ΔH_c [MJ/kg]	ΔH_v [kJ/kg]	Cp [J/kgK]
propyleen	115-07-1	-47,7	8,57	525,8	2,15	11,2	45,8	360,9	2497
propan	74-98-6	-42,0	6,93	509,6	2,10	9,5	46,3	355,4	2608
propadieen	463-49-0	-34,5	5,66	597,5	2,20	17,0	46,3	433,8	2355
cyclopropan	75-19-4	-32,8	5,19	619,6	2,40	10,4	46,6	420,6	2070
dimethylether	115-10-6	-24,8	4,12	675,2	3,30	26,2	28,8	421,3	2333
methylchloride	74-87-3	-24,2	4,01	935,1	8,10	17,2	13,3	396,0	1577
vinylchloride	75-01-4	-13,9	2,74	923,3	3,60	33,0	18,9	330,2	1313
isobutaan	75-28-5	-11,7	2,44	566,3	1,80	8,4	45,6	341,3	2358
isobuteen	115-11-7	-6,90	2,08	603,2	1,80	9,6	45,0	373,8	2281
1-buteen	106-98-9	-6,24	2,05	602,5	1,60	10,0	45,3	373,4	2227
1,3-butadieen	106-99-0	-4,41	1,91	630,6	1,69	16,0	44,5	396,2	2223
n-butaan	106-97-8	-0,50	1,65	587,3	1,60	8,4	45,7	373,0	2353
trimethylamine	75-50-3	2,87	1,45	643,0	2,00	11,6	38,0	377,2	2281
methyl vinyl ether	107-25-5	5,50	1,35	760,1	2,60	39,0	30,6	417,8	2177
methyl ethyl ether	540-67-0	7,35	1,27	707,7	2,60	10,1	32,1	394,3	2285

Tabel 2.3.3.1.1 Selectie van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen die worden bestudeerd in de casestudie 'Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen'



2.3.3.2 Bestudeerde installatie-onderdelen

De installaties die worden beschouwd in de casestudie 'Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen' zijn installaties die typisch worden aangewend voor de op- of overslag van dergelijke gassen op een Seveso-inrichting. Concreet worden volgende installaties bestudeerd in de casestudie⁴⁶:

- ❑ bovengrondse druktanks
- ❑ een ingeterpte druktank
- ❑ een vaste arm voor het lossen van schepen

BOVENGRONDSE DRUKTANKS – In de casestudie worden vier bovengrondse opslagtanks voor tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen bestudeerd met een volume van respectievelijk 3.000 m³, 1.500 m³, 500 m³ en 200 m³. De specificaties van de beschouwde druktanks worden opgelijst in onderstaande tabel.

Volume [m ³]	Vorm	Tankdimensies	Max. aansluit-diameter [mm]	Max. vullingsgraad [%]	Max. vloeistofkolom [m]
3.000	sferische tank	diameter = 17,9 m	250	90 (bij 13°C)	14,4
1.500	sferische tank	diameter = 14,2 m	150	90 (bij 13°C)	11,4
500	horizontale cilinder	lengte = 23 m, diameter = 5,3 m	150	90 (bij 13°C)	4,5
200	horizontale cilinder	lengte = 21 m, diameter = 3,5 m	100	90 (bij 13°C)	3,0

Tabel 2.3.3.2.1 Specificaties van de beschouwde druktanks in de casestudie 'Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen'

De openingsdruk van de drukontlastingskleppen op de opslagtank wordt gelijkgesteld aan de dampdruk van het product bij een temperatuur van 40°C, in overeenstemming met art. 5.16.6.9 §3 van VLAREM II dat handelt over de minimale dienstdruk van de opslagtank. Tabel 2.3.3.2.2 toont de beschouwde insteldruk voor de kleppen, tezamen met de aangenomen faaldruk van de opslagtank voor het scenario van een warme BLEVE van de tank (faaldruk = 1,21 x insteldruk) en de massafractie die betrokken is in de vuurbal (zie § 2.3.3.3 – VUURBAL). De faaldruk van de opslagtank voor het scenario van een koude BLEVE is gelijk aan de dampdruk van het product bij de opslagtemperatuur van 13°C.

stofnaam	Insteldruk drukontlastings-klep [bara]	Faaldruk [bara] (Warme BLEVE)	Faaltemp. [°C] (Warme BLEVE)	Grenswaarde voor over-verhitting [°C]	massafractie betrokken in vuurbal
propyleen	16,6	19,9	48,2	51,6	100%
propaan	13,7	16,4	47,9	56,0	100%

⁴⁶ Verladings van tankwagens worden hier niet beschouwd.

stofnaam	Insteldruk drukontlastings- klep [bara]	Faaldruk [bara] (Warme BLEVE)	Faaltemp. [°C] (Warme BLEVE)	Grenswaarde voor over- verhitting [°C]	massafractie betrokken in vuurbal
propadieen	11,6	13,8	47,5	77,5	100%
cyclopropan	10,6	12,7	47,4	81,1	93%
dimethylether	8,9	10,6	46,7	82,9	96%
methylchloride	8,7	10,3	46,7	97,3	69%
vinylchloride	6,0	7,1	46,3	111,3	66%
isobutaan	5,3	6,2	46,1	89,8	100%
isobuteen	4,7	5,4	45,7	98,8	87%
1-buteen	4,7	5,5	45,7	100,2	84%
1,3-butadieen	4,3	5,1	45,5	105,1	75%
n-butaan	3,8	4,4	45,2	105,2	81%
trimethylamine	3,4	3,9	44,9	112,4	69%
methyl vinyl ether	3,4	3,9	44,6	115,8	57%
methyl ethyl ether	3,2	3,6	44,4	116,5	61%

Tabel 2.3.3.2.2 Insteldruk van de drukontlastingskleppen op de tank en faaldruk van de tank bij het scenario van een warme BLEVE

INGETERPTE DRUKTANK – In de casestudie worden twee ingeterpte cilindrische druktanks bestudeerd met een volume van 3.000 en 200 m³. De specificaties van de beschouwde druktanks worden opgesomd in onderstaande tabel.

Volume [m ³]	Vorm	Tankdimensies	Max. aansluit- diameter [mm]	Max. vullingsgraad [%]	Max. vloeistofkolom [m]
3.000	ingeterpte cilindrische tank	lengte = 60 m, diameter = 8,0 m	250	90 (bij 13°C)	6,75
200	ingeterpte cilindrische tank	lengte = 21 m, diameter = 3,5 m	100	90 (bij 13°C)	3,0

Tabel 2.3.3.2.3 Specificaties van de beschouwde ingeterpte druktanks in de casestudie 'Tot vloeistof verdichte ontlambare gassen'

De openingsdruk van de drukontlastingskleppen op de ingeterpte opslagtank wordt opnieuw gelijkgesteld aan de dampdruk van het product bij een temperatuur van 40°C (zie tabel 2.3.3.2.2). De faaldruk van de opslagtank voor het scenario van een koude BLEVE is gelijk aan de dampdruk van het product bij de opslagtemperatuur van 13°C.

LOSARM SCHEPEN – Met betrekking tot de overslag van tot vloeistof verdichte ontlambare gassen wordt in de casestudie een 6" (150 mm) vaste losarm voor schepen bestudeerd. Het nominaal

verladingsdebiet en de opvoerdruk van de pomp bedragen respectievelijk 300 m³/h en 5 barg. Bij een incidentele vrijzetting kan de losarm via een automatisch noodstop worden ingeblokt (reactietijd: 120 s, faalkans: 0,01 per aanspraak). Verder wordt aangenomen dat er stroomafwaarts van de losarm maatregelen zijn genomen om terugstroming vanuit de opslagtank te verhinderen bij het falen van de verlaadinstallatie. Er wordt verondersteld dat de losarm voor schepen gedurende 3.000 uren per jaar wordt gebruikt.

2.3.3.3 Rekenmethode en aangewende modellen

CATASTROFALE BREUK VAN EEN TANK – Bij een breuk van een opslagtank wordt de volledige inhoud van de tank instantaan vrijgezet. Onder invloed van het drukverschil met de omgeving zal de inhoud van de tank een expansie tot op omgevingsdruk ondergaan. Tijdens deze expansie zal een deel van de vloeistoffractie flashen, waardoor er instantaan damp gevormd wordt (de zgn. flashfractie). Het resterende deel van de vloeistoffractie zal door het heftig flashen uit elkaar worden getrokken tot druppels die ofwel in de wolk blijven (de zgn. sprayfractie), ofwel op de grond terecht komen (de zgn. rain-outfractie). De flashfractie wordt berekend uitgaande van een isentrope expansie. De sprayfractie en de rain-outfractie worden bepaald conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. De berekende flash-, spray- en rain-outfracties voor een instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht gas worden weergegeven in onderstaande tabel.

stofnaam	flash [%]	spray [%]	rain-out [%]
propyleen	28,4%	48,3%	23,3%
propaan	28,4%	48,2%	23,4%
propadieen	20,4%	31,5%	48,1%
cyclopropaan	18,1%	26,8%	50,1%
dimethylether	17,6%	25,8%	56,6%
methylchloride ^(*)	12,8%	15,8%	71,4%
vinylchloride ^(*)	10,4%	10,9%	78,7%
isobutaan	15,0%	20,5%	64,5%
isobuteen	11,2%	12,6%	76,2%
1-buteen	10,6%	11,2%	78,2%
1,3-butadieen	8,9%	8,9%	82,2%
n-butaan	8,2%	8,2%	83,6%
trimethylamine	5,8%	5,8%	88,4%
methyl vinyl ether	3,8%	3,8%	92,4%
methyl ethyl ether	3,2%	3,2%	93,6%

(*) De berekende flashfracties van methylchloride en vinylchloride zijn laag in relatie tot hun atmosferisch kookpunt of dampspanning. Dit houdt verband met de lage warmtecapaciteit van deze vloeibare gassen ten opzichte van de andere vloeibare gassen (zie tabel 2.3.3.1.1).

Tabel 2.3.3.3.1 Flash-, spray- en rain-outfracties bij een instantane vrijzetting op een temperatuur van 13°C (isentrop)

De flash- en de sprayfracties komen als het ware onmiddellijk terecht in de wolk, terwijl de rain-outfractie terechtkomt op de grond, een plas vormt en van daaruit zal verdampen. De wolk die onmiddellijk wordt gevormd bevat (meestal) vloeistofdruppels en heeft initieel een aanzienlijke expansiesnelheid. Direct na de vrijzetting zal de wolk bijgevolg snel toenemen in omvang alvorens ze zich onder invloed van de atmosferische stroming en de zwaartekracht zal verspreiden in de omgeving. Tijdens de korte expansiefase, die eindigt op het moment dat de expansiesnelheid de heersende windsnelheid benadert, zal het expanderende damp/vloeistof-mengsel mengen met de omgevingslucht (verdunnen) en zullen de vloeistofdruppels verdampen.

De dispersieberekeningen van de instantaan gevormde wolk en van de plasverdamping worden afzonderlijk uitgevoerd. Vervolgens worden de concentraties die bekomen worden in beide dispersieberekeningen op elk tijdstip opgeteld.

LEK AAN EEN TANK – In geval van een lek aan de druktank wordt de uitstroming van een tot vloeistof verdicht gas berekend als een tweefasige uitstroming doorheen een pijpje met een lengte van 10 cm. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een Homogeen Evenwichtsmodel (Leung). Met betrekking tot de hoogte van de vloeistofkolom boven de lekopening wordt conservatief aangenomen dat de tank maximaal gevuld is en het lek zich aan de onderzijde van de tank bevindt. In de verdere berekeningen wordt geen rekening gehouden met een daling van het uitstroomdebiet als gevolg van een afname van het vloeistofniveau in de tank, i.e. geen transiënte berekening van het uitstroomdebiet.

De verzadigde vloeistof zal na vrijzetting in de atmosfeer niet volledig op de grond terechtkomen, maar zal – zoals in de vorige paragraaf beschreven – gedeeltelijk flashen, waardoor er ook hier flash-, spray- en rain-outfracties worden gevormd. De flashfractie wordt berekend uitgaande van een expansie met behoud van massa, momentum en energie. De sprayfractie en de rain-outfractie worden bepaald conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*. De berekende flash-, spray- en rain-outfracties voor een continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht gas worden weergegeven in onderstaande tabel.

stofnaam	flash [%]	spray [%]	rain-out [%]
propyleen	31,3%	68,7%	0,0%
propaan	31,1%	68,9%	0,0%
propadieen	22,2%	77,8%	0,0%
cyclopropaan	19,6%	78,4%	2,0%
dimethylether	18,8%	75,2%	6,0%
methylchloride ^(*)	13,7%	54,6%	31,7%
vinylchloride ^(*)	11,0%	43,8%	45,2%
isobutaan	15,7%	62,6%	21,7%
isobuteen	11,6%	46,4%	42,0%
1-buteen	10,9%	43,6%	45,5%

stofnaam	flash [%]	spray [%]	rain-out [%]
1,3-butadien	9,2%	36,6%	54,2%
n-butaan	8,4%	33,4%	58,2%
trimethylamine	5,8%	23,3%	70,9%
methyl vinyl ether	3,8%	15,2%	81,0%
methyl ethyl ether	3,2%	12,9%	83,9%

(*) De berekende flashfracties van methylchloride en vinylchloride zijn laag in relatie tot hun atmosferisch kookpunt of dampspanning. Dit houdt verband met de lage warmtecapaciteit van deze vloeibare gassen ten opzichte van de andere vloeibare gassen (zie tabel 2.3.3.1.1).

Tabel 2.3.3.3.2 Flash-, spray- en rain-outfracties bij een continue vrijzetting op een temperatuur van 13°C (behoud momentum)

BREUK EN LEK VAN DE VERLAADARM – Bij een breuk van een verlaadarm die wordt aangewend bij de overslag van een tot vloeistof verdicht gas, wordt het uitstroomdebiet gelijkgesteld aan 1,5 maal het nominaal pompdebiet (toename van het debiet door wegvallen van de tegendruk). Terugstroming vanuit de tank wordt in deze casus niet beschouwd omdat bij het lossen van schepen met tot vloeistof verdichte gassen normaliter maatregelen worden getroffen om terugstroming vanuit de opslagtank te verhinderen.

De uitstroming van een tot vloeistof verdicht gas als gevolg van een lek aan de verlaadarm wordt op dezelfde wijze berekend als bij een lek aan de opslagtank, maar dan uitgaande van de totale druk in de losleiding/arm (incl. opvoerhoogte van de pomp).

DISPERSIE – Aangezien het vrijgezette product (damp en vloeistofnevel) zwaarder is dan lucht, worden de omvang en de vorm van de brandbare wolk (afgebakend door de LEL-contour) in functie van de tijd berekend met het zwaargasmodel SLAB (Ermak, 1990).

De dispersieberekeningen van een instantaan gevormde wolk (flash- en spray-fracties) en van de wolk gevormd door de continue verdamping van de rainout-fractie worden afzonderlijk uitgevoerd. Vervolgens worden de concentraties in de omgeving van beide berekeningen op elke tijdstip opgeteld conform de voorschriften in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

In het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* zijn geen aanbevelingen opgenomen met betrekking tot de gelijktijdige dispersie van de continue tweefasige jet (flash- en spray-fractie) en de continue verdamping afkomstig met de rainout-fractie. In onderhavige studie wordt dezelfde methode toegepast als bij instantane vrijzettingen. D.w.z. dat de dispersieberekeningen van beide brontermen afzonderlijk worden uitgevoerd en dat de concentraties in de omgeving van beide berekeningen vervolgens op elke tijdstip worden opgeteld.

BLEVE – De effecten van een BLEVE van een druktank worden berekend met het model van Baker (1977, 1983) voor niet-ideale gassen. Voor een bovengrondse druktank wordt uitgegaan van het scenario van een warme BLEVE en van een faaldruk gelijk aan 1,21 keer de openingsdruk van de drukontlastingskleppen (zie tabel 2.3.3.2.2). Aangezien de temperatuur bij falen voor alle tot

GASWOLKEXPLOSIË – De massa in de brandbare wolk (afgebakend door de LEL- en UEL-contour) wordt in functie van de tijd berekend met behulp van het hogervermelde dispersiemodel. De wolk met de grootste explosieve massa (uitgedrukt in kg) wordt weerhouden als resultaat van de berekening. Het aangrijpingspunt van de explosie wordt gelijkgesteld aan het volumetrisch centrum van de overeenkomstige brandbare wolk.

De explosieoverdruk in functie van de afstand tot het explosiecentrum wordt berekend met curve 7 van het multi-energiemodel (explosie op grondniveau), waarbij wordt aangenomen dat 12% van de in de wolk aanwezige brandbare massa ingeklemd is en derhalve bijdraagt tot de explosie.

SCHADEFUNCTIES – De schadefuncties en –criteria die worden toegepast bij de uitwerking van de casus worden weergegeven in onderstaande tabel.

Ongeval-scenario	Fysisch effect	Schadefunctie	Criterium voor maximale effectafstand (1% letaliteit)
BLEVE	Overdruk	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	p = 56 mbar
Vuurbal Fakkelbrand Plasbrand	Warmtestraling	$Pr = -36,38 + 2,56 \ln(Q^{4/3} t)$ 'Q': warmteflux [W/m ²] gedurende tijd 't' [s]	$(Q^{4/3} t) = 4,2 \cdot 10^6 (W/m^2)^{4/3} \cdot s$ of Q = 10 kW/m ² als t = 20 s
	Verbranding	100% in de brandhaard	Rand van de brandhaard
Wolkbrand	Verbranding	100% in de wolk 0% buiten de wolk	Afstand tot LEL op het moment dat de wolk een maximale oppervlakte heeft
Gaswolk-explosie	Overdruk	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	p = 56 mbar

Tabel 2.3.3.3.3 Aangewende schadefuncties bij de bepaling van het plaatsgebonden mensrisico

2.3.3.4 Ontvlambaarheidsindices voor tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

De bronterm- en effectmodellen die worden aangewend voor een vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas maken gebruik van een groot aantal stoffeigenschappen. In tabel 2.3.3.4.1 wordt een overzicht gegeven van de invloed van verschillende stoffeigenschappen op de effecten van mogelijke ongevallen met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen. Uit dit overzicht en in het bijzonder uit de voetnoten bij de tabel blijkt dat de mate waarin een stoffeigenschap het resultaat van een effectberekening bepaalt, mee bepaald wordt door een aantal modelleringsafspraken en inherente grenzen. Zo geldt bijvoorbeeld:

- dat een hogere dampspanning (i.e. een hogere druk) leidt tot een groter volumetrisch debiet, tenzij het debiet niet bepaald wordt door de druk. Dit laatste is bv. het geval bij de

faalwijze volledige uitstroom in 10 minuten of bij een vrijzetting aan 1,5 keer het pompdebiet;

- ❑ dat een hogere verbrandingswarmte leidt tot een grotere stralingswarmteflux bij brand, tenzij deze laatste begrensd wordt tot bv. 400 kW/m² waardoor deze invloed enkel zichtbaar is voor gassen met een zeer lage verbrandingswarmte.
- ❑ dat een hogere soortelijke warmtecapaciteit leidt tot een hogere flash- en sprayfractie. Deze is echter begrensd tot 100% waardoor deze invloed enkel zichtbaar is voor gassen met een lage flashfractie.

Als gevolg daarvan kan het gevaren- of risicopotentieel van een installatie met een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas moeilijk worden ingeschat op basis van een index.

stofeigenschap	invloed op effectmodellering	invloed op effectafstanden			
		vuurbal	fakkel- brand	wolk- brand	gaswolk- explosie
dampspanning / atm. kookpunt	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de dampspanning (hoe lager het atm. kookpunt), hoe groter de oververhittingsgraad en bijgevolg hoe hoger de flashfractie en de massa die rechtstreeks in de atmosfeer wordt vrijgezet 	+		+	+
			+	+	+
	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de dampspanning (druk in de installatie), hoe hoger het volumetrisch vrij-zettings-debiet in geval van een lek • Hoe hoger de dampspanning (druk in de installatie), hoe hoger de snelheid van de geëxpandeerde jet in geval van een lek 		-	-	-
vloeistofdichtheid	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de vloeistofdichtheid, hoe hoger de ogenblikkelijke massa in een installatie en hoe 	+	+	+	+
onderste explosiegrens	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de LEL, hoe kleiner de brandbare wolken die worden gevormd in de omgeving 			-	-
bovenste explosiegrens	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de UEL, hoe groter de massa in de brandbare wolk 				+
stoichiometrische massafractie	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe hoger de stoichiometrische massafractie, hoe kleiner de fakkellengte 		-		

stofeigenschap	invloed op effectmodellering	invloed op effectafstanden			
		vuurbal	fakkel- brand	wolk- brand	gaswolk- explosie
verbrandings- warmte	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de verbrandingswarmte, hoe groter de warmte-stralingsflux bij brand Hoe hoger de verbrandingswarmte, hoe groter de energie-inhoud van een brandbare wolk 	+ ⁽⁵⁾	+ ⁽⁵⁾		+
soortelijke warmte vloeistof	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de soortelijke warmte, hoe hoger de flashfractie en de massa die rechtstreeks in de atmosfeer wordt vrijgezet 	+	+	+	+
verdampings- warmte	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de verdampingswarmte, hoe lager de flashfractie en de massa die rechtstreeks in de atmosfeer wordt vrijgezet 	-	-	-	-

- (1) In geval van een warme BLEVE is de flashfractie meestal vrij hoog als gevolg van de hogere temperatuur op het moment van falen en is de invloed van het kookpunt op de effectafstand van een vuurbal bijgevolg minder uitgesproken.
- (2) Dit geldt niet voor continue vrijzettingsscenario's waarbij het volumetrisch vrijzettingdebiet op een andere manier wordt berekend (bv. uitstroming van de inhoud in 10 minuten, breuk van een verlaadinstallatie met vast nominaal pompdebiet).
- (3) Een hoge jetsnelheid zorgt voor een intense opmenging met de omgevingslucht ter hoogte van de bron en bijgevolg in een grote initiële verdunning van de brandbare wolk. Anderzijds zorgt een hoge jetsnelheid ervoor dat de steady state van de brandbare wolk sneller wordt bereikt, wat een rol kan spelen bij het scenario 'uitstroming van de volledige inhoud in een tijdspanne van 10 minuten'. Bij een vrijzetting uit een leiding gaat een hoge jetsnelheid meestal ook gepaard met kleinere jetdiameters, hetgeen bij ontsteking resulteert in een kleinere fakkel (kortere fakkellengte en kleinere fakkeldiameters).
- (4) Dit komt hoofdzakelijk tot uiting bij vrijzettingsscenario's waarvoor het vrijzettingdebiet onafhankelijk is van de druk in de installatie (bv. uitstroming van de inhoud in 10 minuten, breuk van een verlaadinstallatie met vast nominaal pompdebiet).
- (5) De stralingswarmteflux van een vlam wordt in de meeste modellen begrensd op 400 kW/m², zodat dit effect enkel zichtbaar is voor gassen met een zeer lage verbrandingswarmte.

Tabel 2.3.3.4.1 Invloed van verschillende stoffeigenschappen op de effecten van mogelijke ongevallen bij een vrijzetting van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

In volgende paragrafen zullen de risico- en effectafstanden worden berekend voor verschillende installatietypes (zie § 2.3.3.2) en voor een aantal vaak voorkomende tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen (zie § 2.3.3.1). Op basis van deze berekeningen zullen vervolgens conclusies worden getrokken met betrekking tot de keuze van een representatieve stof voor deze gassen in een veiligheidsrapport.

2.3.3.5 Resultaten van de effect- en risicoberekeningen

Om de vergelijking tussen de verschillende stoffen enigszins te vergemakkelijken worden in onderstaande tabellen de maximumwaardes per kolom in het rood aangeduid. De effectafstanden van wolkbranden en gaswolkexplosies worden gerapporteerd voor weertype D50 (neutrale atmosfeer) en F20 (zeer stabiele atmosfeer). Verder wordt de bestudeerde gassen in de tabel gegroepeerd in koolwaterstoffen met 3 koolstofatomen (C₃-gassen), koolwaterstoffen met 4 koolstofatomen (C₄-gassen) en gassen met hetero-atomen.

2.3.3.5.1 Bovengrondse opslagtanks

Tabellen 2.3.3.5.1 t.e.m. 2.3.3.5.12 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j en drie parameters⁴⁷ die een maat zijn voor het groepsrisico⁴⁸ dat uitgaat van de bovengrondse opslagtanks die in beschouwing worden genomen in deze casestudie. Verder worden de berekende maximale effectafstanden getoond voor de scenario's die bepalend zijn voor de ligging van de 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j isorisicocontouren.

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtingswaarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	85	858	1111	1,08E-04	2377	2,19E-02
propaan	5	92	851	1106	1,08E-04	2448	2,11E-02
propadieen	5	110	908	1189	1,20E-04	3222	2,82E-02
cyclopropaan	5	117	894	1169	1,14E-04	3027	2,62E-02
isobutaan	6	123	888	1150	1,07E-04	2881	2,47E-02
isobuteen	6	128	855	1107	9,86E-05	2503	1,99E-02
1-buteen	6	128	850	1107	9,99E-05	2599	1,96E-02
1,3-butadieen	6	133	813	1061	9,36E-05	2333	1,70E-02
n-butaan	6	129	803	1043	8,98E-05	2077	1,56E-02
dimethylether	5	112	822	1063	9,94E-05	2303	2,38E-02
methylchloride	0	7	153	550	1,36E-05	482	1,69E-03
vinylchloride	5	110	595	790	8,02E-05	1735	1,37E-02
trimethylamine	6	124	693	903	7,50E-05	1438	1,10E-02
methylvinylether	6	123	601	785	6,65E-05	1018	9,24E-03
methylethylether	5	122	614	810	6,74E-05	1187	9,50E-03

⁴⁷ De drie parameters die een maat zijn voor het groepsrisico van de bestudeerde installaties zijn de verwachtingswaarde, het maximaal aantal slachtoffers (N) dat voor het worst-case ongevalsscenario wordt berekend en de maximale F·N²-waarde die voor het worst-case ongevalsscenario wordt berekend. Een maximaal aantal slachtoffers (N) groter dan 1.000 of een maximale F·N²-waarde groter dan 10² geeft aanleiding tot een overschrijding van het Vlaamse groepsrisicocriterium.

⁴⁸ In de casestudie werd het groepsrisico bepaald voor een omgeving met een uniforme populatiedichtheid, m.n. een industriegebied met een gemiddelde personendichtheid (40 pers/ha) en een aanwezigheidspercentage van 20% gedurende de nacht en het weekend.

Tabel 2.3.3.5.1 Risicoafstanden voor een bovengrondse opslagtank van 3.000 m³

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	1170	750 (109 ha)	1000 (233 ha)	1905 (760 ton)	1830 (800 ton)
propaan	1160	740 (104 ha)	990 (227 ha)	1840 (695 ton)	1835 (724 ton)
propadieen	1240	695 (88 ha)	920 (194 ha)	1785 (674 ton)	1735 (692 ton)
cyclopropaan	1220	625 (75 ha)	835 (162 ha)	1665 (494 ton)	1580 (506 ton)
isobutaan	1210	550 (58 ha)	1140 (146 ha)	1525 (378 ton)	1450 (388 ton)
isobuteen	1170	485 (45 ha)	1145 (149 ha)	1370 (296 ton)	1780 (356 ton)
1-buteen	1160	500 (45 ha)	1235 (166 ha)	1355 (284 ton)	1840 (375 ton)
1,3-butadieen	1110	460 (39 ha)	1205 (159 ha)	1315 (271 ton)	1835 (363 ton)
n-butaan	1100	440 (34 ha)	1175 (159 ha)	1235 (202 ton)	1815 (355 ton)
dimethylether	1140	555 (62 ha)	710 (122 ha)	1495 (647 ton)	1420 (626 ton)
methylchloride	760	340 (26 ha)	410 (44 ha)	905 (299 ton)	910 (331 ton)
vinylchloride	840	410 (36 ha)	810 (93 ha)	1120 (441 ton)	1105 (435 ton)
trimethylamine	960	355 (24 ha)	995 (126 ha)	1045 (163 ton)	1545 (303 ton)
methylvinylether	850	300 (17 ha)	815 (92 ha)	885 (129 ton)	1310 (238 ton)
methylethylether	860	300 (17 ha)	945 (119 ha)	865 (102 ton)	1470 (275 ton)

Tabel 2.3.3.5.2 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een bovengrondse opslagtank van 3.000 m³

product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelfbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	895 (23 ha)	2085 (213 ha)	1485 (133 ton)	2925 (816 ton)	159 (156-164)
propaan	870 (23 ha)	2015 (223 ha)	1470 (132 ton)	2980 (867 ton)	169 (164-173)
propadieen	960 (34 ha)	2125 (325 ha)	1665 (215 ton)	3205 (1328 ton)	193 (187-196)
cyclopropaan	895 (30 ha)	1995 (309 ha)	1580 (187 ton)	3130 (1237 ton)	203 (196-206)
isobutaan	770 (26 ha)	1665 (293 ha)	1440 (156 ton)	2675 (975 ton)	206 (187-219)
isobuteen	715 (22 ha)	1495 (252 ha)	1350 (132 ton)	2480 (819 ton)	211 (189-229)
1-buteen	755 (23 ha)	1510 (262 ha)	1360 (137 ton)	2455 (794 ton)	212 (188-232)
1,3-butadieen	705 (20 ha)	1450 (234 ha)	1325 (130 ton)	2325 (768 ton)	221 (193-239)
n-butaan	655 (18 ha)	1375 (209 ha)	1220 (97 ton)	2195 (573 ton)	216 (188-243)

product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelfbrand
	D50	F20	D50	F20	
dimethylether	695 (20 ha)	1890 (231 ha)	1310 (193 ton)	2580 (1139 ton)	189 (176-193)
methylchloride	350 (5 ha)	675 (32 ha)	705 (61 ton)	1215 (264 ton)	167 (153-171)
vinylchloride	495 (13 ha)	1370 (173 ha)	1025 (147 ton)	1890 (856 ton)	178 (160-184)
trimethylamine	500 (11 ha)	1120 (145 ha)	980 (68 ton)	1860 (470 ton)	207 (183-233)
methylvinylether	375 (6 ha)	935 (103 ha)	815 (49 ton)	1560 (382 ton)	214 (182-240)
methylethylether	415 (7 ha)	930 (108 ha)	805 (42 ton)	1585 (369 ton)	206 (185-229)

Tabel 2.3.3.5.3 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na een volledige uitstroming van een bovengrondse opslagtank van 3.000 m³ in 10 minuten en fakkelfbranden na een groot lek

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	57	661	853	6,07E-05	1308	7,90E-03
propan	4	60	656	847	6,00E-05	1271	7,43E-03
propadieen	5	71	701	915	6,62E-05	1646	1,05E-02
cyclopropan	5	75	692	897	6,27E-05	1495	9,34E-03
isobutaan	5	79	683	879	5,96E-05	1456	8,62E-03
isobuteen	5	82	640	825	5,43E-05	1296	6,93E-03
1-buteen	6	83	634	825	5,40E-05	1364	6,70E-03
1,3-butadieen	5	87	605	788	5,12E-05	1221	5,50E-03
n-butaan	6	84	598	778	4,96E-05	1100	5,78E-03
dimethylether	4	70	617	801	5,53E-05	901	8,58E-03
methylchloride	0	7	101	403	7,65E-06	273	6,21E-04
vinylchloride	4	69	438	587	4,46E-05	711	4,96E-03
trimethylamine	5	80	514	674	4,23E-05	831	4,10E-03
methylvinylether	5	78	442	583	3,74E-05	544	3,38E-03
methylethylether	5	77	452	603	3,77E-05	651	3,44E-03

Tabel 2.3.3.5.4 Risicoafstanden voor een bovengrondse opslagtank van 1.500 m³

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	920	580 (62 ha)	745 (131 ha)	1495 (384 ton)	1430 (392 ton)
propan	910	570 (60 ha)	735 (127 ha)	1500 (352 ton)	1435 (368 ton)
propadieen	970	525 (51 ha)	690 (109 ha)	1405 (334 ton)	1360 (343 ton)
cyclopropan	960	480 (43 ha)	620 (91 ha)	1310 (250 ton)	1290 (259 ton)

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
isobutaan	950	420 (33 ha)	590 (76 ha)	1200 (189 ton)	1140 (191 ton)
isobuteen	890	380 (26 ha)	820 (76 ha)	1110 (147 ton)	1300 (161 ton)
1-buteen	880	380 (25 ha)	885 (85 ha)	1065 (141 ton)	1385 (169 ton)
1,3-butadieen	840	350 (22 ha)	860 (81 ha)	1030 (135 ton)	1345 (163 ton)
n-butaan	830	335 (20 ha)	835 (81 ha)	975 (101 ton)	1315 (157 ton)
dimethylether	870	420 (35 ha)	530 (68 ha)	1175 (328 ton)	1160 (326 ton)
methylchloride	570	255 (15 ha)	305 (24 ha)	710 (148 ton)	715 (164 ton)
vinylchloride	640	315 (20 ha)	575 (48 ha)	875 (213 ton)	865 (219 ton)
trimethylamine	730	275 (14 ha)	700 (63 ha)	815 (81 ton)	1165 (135 ton)
methylvinylether	640	235 (10 ha)	570 (46 ha)	695 (62 ton)	990 (105 ton)
methylethylether	650	250 (9 ha)	660 (58 ha)	675 (50 ton)	1075 (121 ton)

Tabel 2.3.3.5.5 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een bovengrondse opslagtank van 1.500 m³

product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelfbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	600 (9 ha)	1365 (72 ha)	1025 (46 ton)	1850 (221 ton)	102 (101-107)
propaan	585 (9 ha)	1380 (81 ha)	1020 (46 ton)	1915 (245 ton)	106 (103-108)
propadieen	650 (14 ha)	1590 (152 ha)	1160 (77 ton)	2375 (477 ton)	123 (118-127)
cyclopropaan	605 (12 ha)	1590 (136 ha)	1105 (68 ton)	2245 (434 ton)	130 (124-135)
isobutaan	525 (11 ha)	1270 (147 ha)	1005 (57 ton)	2035 (412 ton)	132 (122-139)
isobuteen	485 (9 ha)	1140 (130 ha)	940 (48 ton)	1855 (342 ton)	138 (122-152)
1-buteen	515 (10 ha)	1150 (137 ha)	960 (51 ton)	1860 (354 ton)	139 (122-154)
1,3-butadieen	480 (9 ha)	1085 (123 ha)	930 (48 ton)	1795 (336 ton)	147 (131-160)
n-butaan	445 (8 ha)	1035 (110 ha)	855 (36 ton)	1655 (260 ton)	141 (125-154)
dimethylether	470 (8 ha)	1180 (83 ha)	915 (66 ton)	1720 (349 ton)	117 (114-121)
methylchloride	240 (2 ha)	435 (12 ha)	505 (21 ton)	810 (83 ton)	107 (97-115)
vinylchloride	335 (5 ha)	870 (71 ha)	715 (52 ton)	1350 (311 ton)	113 (102-121)
trimethylamine	340 (5 ha)	835 (77 ha)	690 (25 ton)	1445 (209 ton)	136 (119-150)
methylvinylether	250 (3 ha)	700 (55 ha)	565 (18 ton)	1220 (171 ton)	137 (122-156)
methylethylether	280 (3 ha)	720 (59 ha)	560 (15 ton)	1215 (154 ton)	134 (118-149)

Tabel 2.3.3.5.6 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na een volledige uitstroming van een bovengrondse opslagtank van 1.500 m³ in 10 minuten en fakkelfbranden na een groot lek

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	48	425	550	2,72E-05	524	1,63E-03
propaan	4	36	421	545	2,59E-05	507	1,61E-03
propadieen	4	38	453	587	2,70E-05	437	2,06E-03
cyclopropaan	4	56	446	578	2,70E-05	358	2,03E-03
isobutaan	4	45	418	545	2,49E-05	351	1,62E-03
isobuteen	4	49	390	510	2,31E-05	359	1,29E-03
1-buteen	4	50	386	505	2,33E-05	413	1,27E-03
1,3-butadieen	5	68	367	483	2,34E-05	380	1,12E-03
n-butaan	4	51	363	476	2,13E-05	357	1,11E-03
dimethylether	4	53	375	493	2,43E-05	269	1,73E-03
methylchloride	0	7	78	235	3,58E-06	120	1,36E-04
vinylchloride	4	55	259	357	2,05E-05	187	1,01E-03
trimethylamine	4	66	308	410	2,01E-05	274	8,58E-04
methylvinylether	4	63	263	353	1,77E-05	182	6,87E-04
methylethylether	4	62	269	363	1,77E-05	217	6,96E-04

Tabel 2.3.3.5.7 Risicoafstanden voor een bovengrondse opslagtank van 500 m³

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	600	370 (26 ha)	470 (52 ha)	1045 (127 ton)	1010 (126 ton)
propaan	590	365 (25 ha)	465 (51 ha)	1015 (116 ton)	1005 (123 ton)
propadieen	640	340 (21 ha)	430 (44 ha)	980 (110 ton)	955 (113 ton)
cyclopropaan	630	310 (18 ha)	395 (36 ha)	915 (82 ton)	870 (81 ton)
isobutaan	590	280 (13 ha)	375 (30 ha)	835 (63 ton)	795 (63 ton)
isobuteen	550	240 (10 ha)	470 (25 ha)	750 (49 ton)	760 (49 ton)
1-buteen	550	245 (10 ha)	505 (28 ha)	750 (46 ton)	760 (49 ton)
1,3-butadieen	520	230 (9 ha)	490 (27 ha)	700 (44 ton)	850 (45 ton)
n-butaan	520	220 (8 ha)	475 (26 ha)	685 (33 ton)	845 (44 ton)

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
dimethylether	540	270 (14 ha)	330 (27 ha)	825 (109 ton)	785 (103 ton)
methylchloride	345	170 (6 ha)	190 (9 ha)	495 (49 ton)	500 (55 ton)
vinylchloride	390	205 (8 ha)	335 (16 ha)	615 (72 ton)	605 (67 ton)
trimethylamine	445	180 (6 ha)	395 (21 ha)	575 (27 ton)	730 (36 ton)
methylvinylether	390	150 (4 ha)	320 (15 ha)	490 (20 ton)	615 (28 ton)
methylethylether	395	165 (4 ha)	370 (19 ha)	465 (16 ton)	670 (32 ton)

Tabel 2.3.3.5.8 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een bovengrondse opslagtank van 500 m³

product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelfbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	315 (2 ha)	625 (12 ha)	550 (8,1 ton)	900 (28 ton)	91 (90-93)
propan	305 (1,9 ha)	610 (11 ha)	545 (7,6 ton)	890 (27 ton)	90 (88-93)
propadieen	350 (2,9 ha)	750 (22 ha)	630 (12,4 ton)	1120 (52 ton)	96 (93-98)
cyclopropan	325 (2,6 ha)	680 (19 ha)	605 (11 ton)	1055 (49 ton)	102 (98-104)
isobutaan	290 (2,7 ha)	735 (34 ha)	575 (10,9 ton)	1135 (73 ton)	107 (98-112)
isobuteen	270 (2,4 ha)	705 (36 ha)	540 (9,7 ton)	1095 (73 ton)	114 (106-125)
1-buteen	285 (2,7 ha)	760 (41 ha)	565 (10,2 ton)	1110 (78 ton)	115 (105-129)
1,3-butadieen	265 (2,4 ha)	715 (38 ha)	535 (9,6 ton)	1085 (76 ton)	117 (105-132)
n-butaan	245 (2,1 ha)	655 (36 ha)	505 (7,3 ton)	1035 (67 ton)	117 (107-128)
dimethylether	260 (1,8 ha)	505 (12 ha)	500 (10,5 ton)	850 (43 ton)	93 (92-95)
methylchloride	135 (0,5 ha)	240 (2 ha)	275 (3,5 ton)	440 (12 ton)	86 (78-90)
vinylchloride	190 (1,3 ha)	430 (16 ha)	410 (9,7 ton)	790 (60 ton)	95 (84-99)
trimethylamine	185 (1,3 ha)	485 (24 ha)	400 (5,1 ton)	910 (55 ton)	117 (104-124)
methylvinylether	135 (0,8 ha)	360 (15 ha)	320 (3,4 ton)	725 (39 ton)	114 (99-121)
methylethylether	150 (0,9 ha)	410 (19 ha)	325 (3 ton)	755 (40 ton)	112 (99-122)

Tabel 2.3.3.5.9 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na een volledige uitstroming van een bovengrondse opslagtank van 500 m³ in 10 minuten en fakkelfbranden na een groot lek

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	28	291	378	1,36E-05	239	4,63E-04
propan	4	27	288	375	1,34E-05	233	4,59E-04
propadieen	4	27	309	402	1,37E-05	200	5,48E-04
cyclopropan	4	28	305	396	1,32E-05	175	5,07E-04

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
isobutaan	4	29	272	359	1,26E-05	146	4,29E-04
isobuteen	4	31	253	336	1,18E-05	136	3,54E-04
1-buteen	4	32	251	332	1,18E-05	154	3,50E-04
1,3-butadien	4	33	238	317	1,11E-05	148	2,92E-04
n-butaan	4	33	235	313	1,08E-05	139	2,88E-04
dimethylether	4	25	243	323	1,20E-05	121	4,52E-04
methylchloride	0	6	49	152	1,75E-06	65	3,95E-05
vinylchloride	4	25	163	230	1,01E-05	73	2,77E-04
trimethylamine	4	31	198	266	9,73E-06	99	2,29E-04
methylvinylether	4	29	167	228	8,74E-06	65	1,86E-04
methylethylether	4	29	171	233	8,75E-06	78	1,88E-04

Tabel 2.3.3.5.10 Risicoafstanden voor een bovengrondse opslagtank van 200 m³

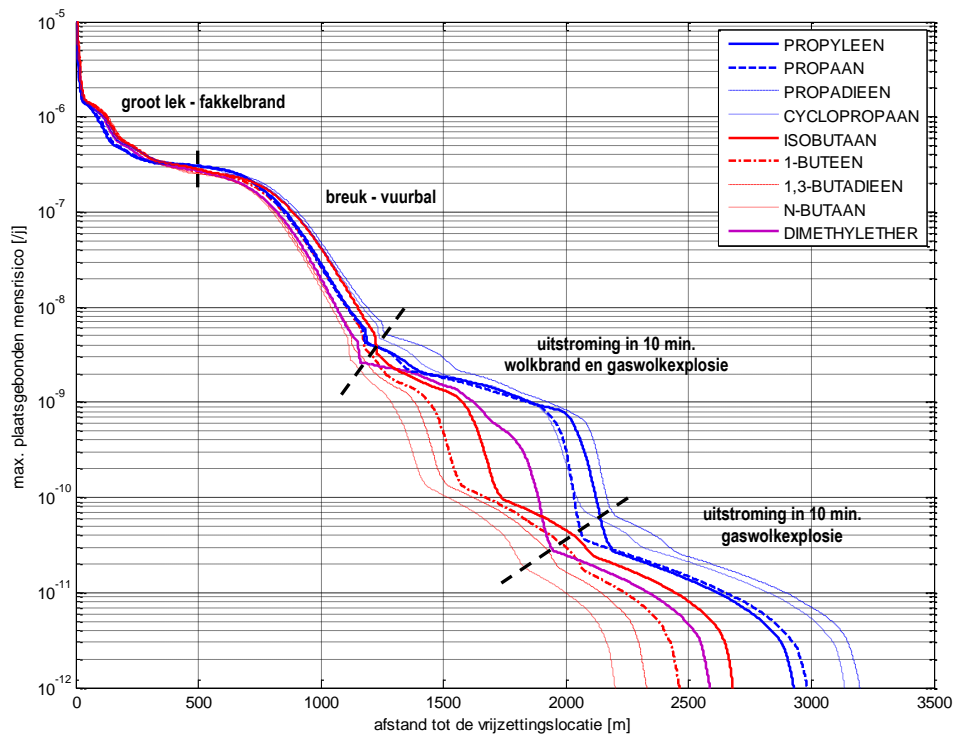
product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	415	270 (12,1 ha)	320 (24 ha)	755 (50 ton)	750 (53 ton)
propan	410	250 (11,7 ha)	315 (23 ha)	750 (46 ton)	715 (46 ton)
propadien	440	240 (9,9 ha)	290 (20 ha)	725 (44 ton)	705 (44 ton)
cyclopropan	435	225 (8,4 ha)	260 (16 ha)	685 (33 ton)	645 (34 ton)
isobutaan	390	190 (6,4 ha)	250 (14 ha)	610 (25 ton)	585 (26 ton)
isobuteen	365	175 (4,9 ha)	220 (11 ha)	560 (19 ton)	530 (18 ton)
1-buteen	360	175 (4,9 ha)	320 (11 ha)	545 (18 ton)	560 (18 ton)
1,3-butadien	345	165 (4,2 ha)	310 (11 ha)	515 (18 ton)	500 (17 ton)
n-butaan	340	150 (3,7 ha)	300 (11 ha)	480 (13 ton)	565 (15 ton)
dimethylether	355	195 (6,8 ha)	220 (12 ha)	585 (43 ton)	580 (39 ton)
methylchloride	220	120 (2,9 ha)	125 (4 ha)	360 (19 ton)	365 (22 ton)
vinylchloride	250	145 (3,9 ha)	170 (7 ha)	455 (29 ton)	430 (25 ton)
trimethylamine	295	130 (2,6 ha)	245 (8 ha)	425 (11 ton)	500 (12 ton)
methylvinylether	255	105 (1,8 ha)	200 (6 ha)	355 (8 ton)	420 (9 ton)
methylethylether	260	120 (1,8 ha)	225 (7 ha)	345 (6 ton)	455 (10 ton)

Tabel 2.3.3.5.11 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een bovengrondse opslagtank van 200 m³

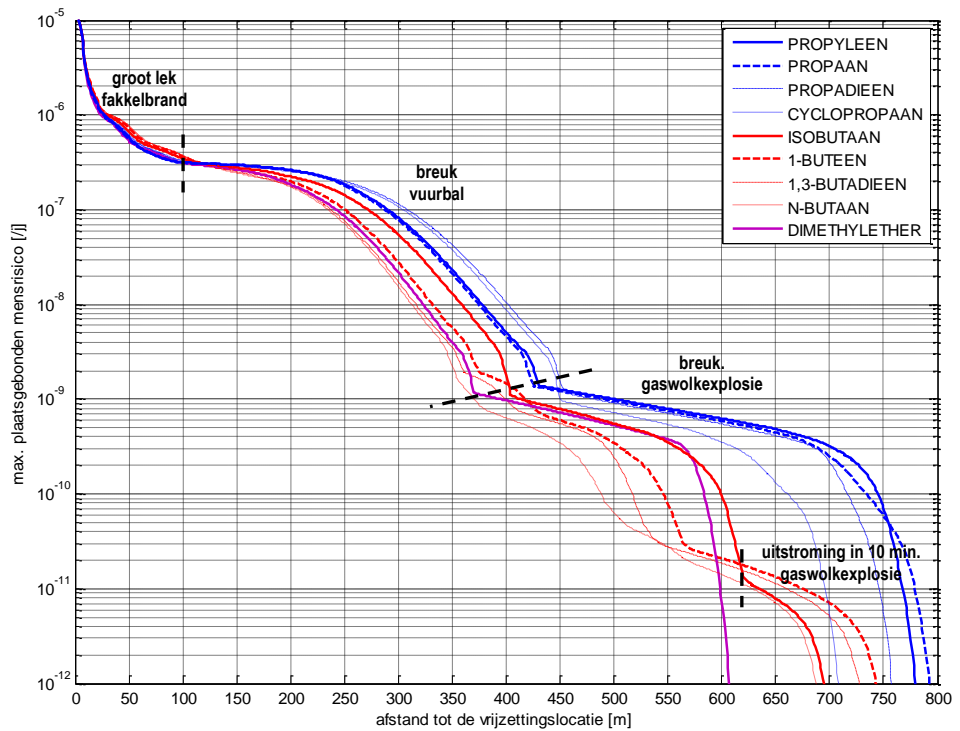
product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	185 (0,6 ha)	330 (2,8 ha)	340 (1,9 ton)	515 (5,4 ton)	68 (66-69)
propaan	180 (0,6 ha)	325 (2,7 ha)	335 (1,8 ton)	515 (5,3 ton)	64 (62-68)
propadieen	205 (0,9 ha)	400 (5,1 ha)	390 (2,9 ton)	630 (9,8 ton)	67 (66-68)
cyclopropaan	195 (0,8 ha)	365 (4,7 ha)	370 (2,5 ton)	620 (9,7 ton)	69 (67-71)
isobutaan	180 (0,8 ha)	400 (9,3 ha)	360 (2,7 ton)	695 (17,4 ton)	71 (67-76)
isobuteen	165 (0,8 ha)	395 (10,8 ha)	350 (2,5 ton)	705 (19,6 ton)	75 (70-80)
1-buteen	175 (0,9 ha)	425 (12,6 ha)	355 (2,6 ton)	745 (21,9 ton)	75 (70-77)
1,3-butadieen	165 (0,8 ha)	400 (12 ha)	345 (2,5 ton)	725 (21,5 ton)	79 (74-81)
n-butaan	150 (0,7 ha)	375 (11,3 ha)	315 (1,9 ton)	685 (18,8 ton)	78 (71-82)
dimethylether	155 (0,5 ha)	285 (2,8 ha)	300 (2,3 ton)	480 (7,7 ton)	60 (60-61)
methylchloride	80 (0,1 ha)	130 (0,5 ha)	160 (0,7 ton)	240 (2 ton)	55 (52-57)
vinylchloride	115 (0,4 ha)	245 (4 ha)	255 (2,3 ton)	455 (11,9 ton)	64 (56-68)
trimethylamine	110 (0,4 ha)	275 (7,9 ha)	250 (1,3 ton)	565 (14,5 ton)	76 (70-79)
methylvinylether	80 (0,3 ha)	205 (5,1 ha)	205 (0,9 ton)	455 (10,2 ton)	76 (68-79)
methylethylether	90 (0,3 ha)	235 (6,5 ha)	200 (0,7 ton)	480 (10,8 ton)	77 (67-82)

Tabel 2.3.3.5.12 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na een volledige uitstroming van een bovengrondse opslagtank van 200 m³ in 10 minuten en fakkelbranden na een groot lek

BESPREKING VAN DE RESULTATEN – Figuren 2.3.3.5.1 en 2.3.3.5.2 tonen het maximale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een bovengrondse opslagtank van respectievelijk 3.000 m³ en 200 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettingslocatie voor een beperkt aantal tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen en geeft aan welke ongevalsscenario's bepalend zijn op een zekere afstand van de bron.



Figuur 2.3.3.5.1 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een druktank van 3.000 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie



Figuur 2.3.3.5.2 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een druktank van 200 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie

Op het niveau van $10^{-6}/j$ is het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van alle bestudeerde druktanks het grootst voor de C₄-gassen. Met uitzondering van methylchloride⁴⁹ verschillen de risicoafstanden tot $10^{-6}/j$ echter niet zo veel. Volgende verklaringen kunnen hiervoor worden gegeven:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van $10^{-6}/j$ hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een fakkelfbrand na een groot lek van de opslagtank.
- ❑ De effecten van een fakkel worden enerzijds bepaald door de omvang van de vlam (vlamdiameter en -hoogte) en anderzijds door de stralingswarmteflux van de vlam.
- ❑ Zowel de vlamlengte als -diameter van een fakkel nemen toe met een toenemende diameter van de jet en nemen af met een toenemende snelheid van de jet na expansie. Bij een vrijzetting van een tot vloeistof verdicht gas via een kort pijpje is de jetdiameter het grootst en de jetsnelheid het laagst voor gassen met een hoog atmosferisch kookpunt (zoals n-butaan en 1,3-butadieen).
- ❑ Voor alle bestudeerde ontvlambare gassen wordt de stralingswarmteflux van de fakkel verder begrensd op 400 kW/m².

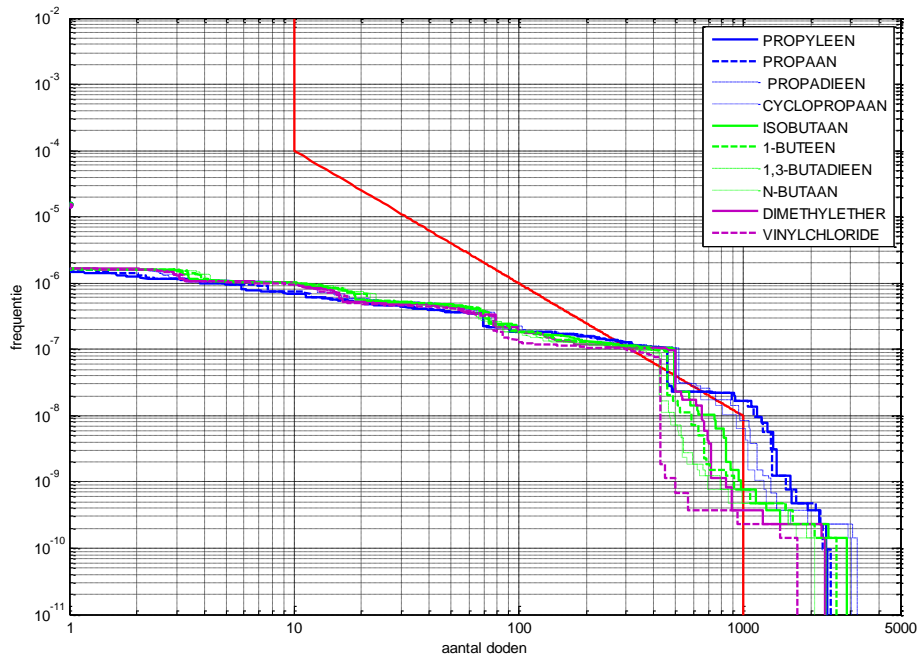
Op het niveau van $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ is het plaatsgebonden risico steeds het grootst voor propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). De redenen hiervoor zijn de volgende:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een vuurbal na een warme BLEVE van de opslagtank.
- ❑ De effecten van een vuurbal worden bepaald door de massa die betrokken is in de vuurbal en de stralingswarmteflux van de vuurbal.
- ❑ De stralingswarmteflux van de vuurbal is evenredig met de verbrandingswarmte van het gas die beduidend hoger is voor de C₃- en C₄-gassen, in vergelijking met de gassen met hetero-atomen. Verder neemt de uitgestraalde warmteflux toe met de faaldruk van de opslagtank. Deze is normaliter het hoogst voor de C₃-gassen.
- ❑ De massa betrokken in de vuurbal neemt toe met de vloeistofdichtheid van het tot vloeistof verdichte gas en met de flash-fractie van het product⁵⁰, berekend bij de faalcondities van een warme BLEVE. Het product van de vloeistofdichtheid en de flashfractie (evenwel beperkt tot 33,3%) is het grootst voor propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen).

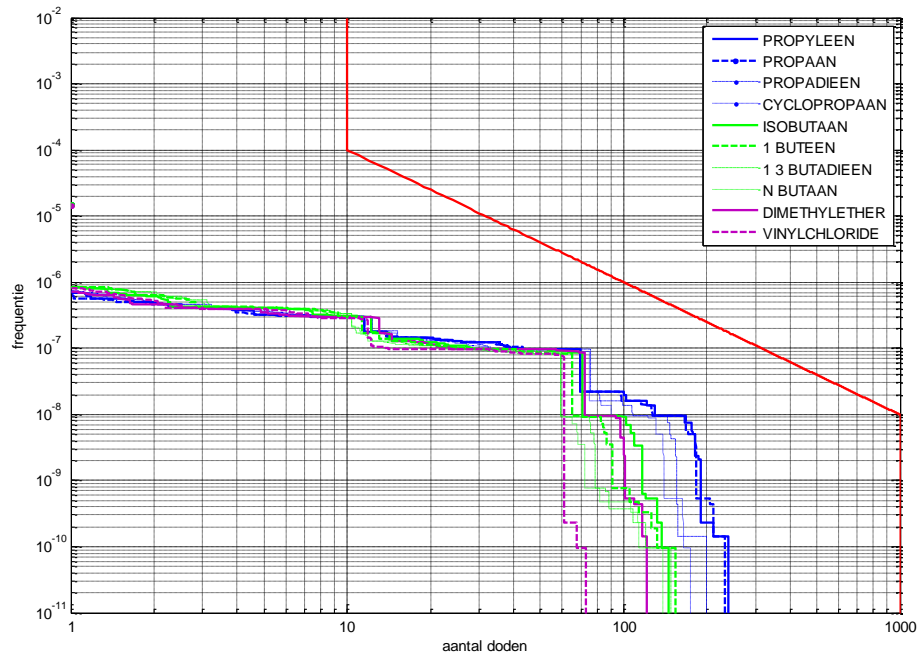
Figuren 2.3.3.5.3 en 2.3.3.5.4 tonen het berekende groepsrisico van een sferische druktank van 3.000 m³ en een cilindrische druktank van 200 m³ in een omgeving met een uniforme populatie (max. 10 pers/ha, hoofdzakelijk binnen). De berekende FN-curve voor de bestudeerde gassen verschillen enkel van elkaar voor de scenario's die aanleiding geven tot een groot aantal doden.

⁴⁹ Voor methylchloride, een laag reactief gas, worden lagere ontstekingskansen toegepast dan voor de andere ontvlambare gassen. Als gevolg hiervan zijn de risico's die uitgaan van methylchloride veel kleiner dan voor de andere ontvlambare gassen.

⁵⁰ Voor zover deze flash-fractie kleiner is dan 33,3%.



Figuur 2.3.3.5.3 groepsrisico voor sferische druktank van 3.000 m³ in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is



Figuur 2.3.3.5.4 groepsrisico voor cilindrische druktank van 200 m³ in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is

Voor een druktank van 3.000 m³ wordt het maximaal aantal doden bereikt voor een tank die gevuld is met propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). Volgende verklaring wordt hiervoor gevonden:

- Het maximaal aantal doden wordt bekomen voor het scenario van een wolkbrand na een uitstroming van de volledige inhoud van de opslagtank in een tijdsperiode van 10 minuten en dit voor weertype F20 overdag.
- In geval van een grote opslagtank ($\geq 1.000 \text{ m}^3$) wordt de steady-state toestand van de brandbare wolk voor de faalwijze 'uitstroming in 10 minuten' niet bereikt voor het einde van de vrijzettingsduur. Als gevolg daarvan wordt de grootste geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk meestal pas bereikt in de puff-mode (na het beëindigen van de vrijzetting) en is deze oppervlakte doorgaans ook groter dan voor het scenario van een wolkbrand na een breuk van de opslagtank.
- De effecten van een gaswolkexplosie⁽⁵¹⁾ na een uitstroming van de volledige inhoud van de tank in een tijdsperiode van 10 minuten worden bovendien op een ander tijdstip bepaald, m.n. het tijdstip waarop de explosieve massa in de wolk het grootst is. Op dat tijdstip blijkt de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk echter nog niet zijn maximale omvang te hebben bereikt.
- De verhouding van het vrijzettingsdebiet rechtstreeks in de atmosfeer (in m^3/s) tot de onderste explosiegrens (m^3/m^3) is een maat voor de omvang van de brandbare wolk. Deze verhouding (zie tabel 2.3.3.5.13) is voor de faalwijze 'uitstroming in 10 minuten' het grootst voor propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C_4 -gassen).

product	Vrijzettingsdebiet [kg/s]	Rainout-fractie	Debiet rechtstreeks in atmosfeer [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettingsdebiet/LEL $[(\text{m}^3/\text{s})/(\text{m}^3/\text{m}^3)]$
propyleen	2374,9	0,00%	2374,9	2,15%	60673
propaan	2300,7	0,00%	2300,7	2,10%	57304
propadieen	2694,1	0,00%	2694,1	2,20%	70569
cyclopropaan	2793,1	1,85%	2741,4	2,40%	62689
isobutaan	2551,5	21,50%	2002,9	1,80%	43704
isobuteen	2717	41,85%	1579,9	1,80%	35734
1-buteen	2713,8	45,30%	1484,4	1,60%	37771
1,3-butadieen	2840	54,05%	1305,0	1,69%	32636
n-butaan	2644,8	58,05%	1109,5	1,60%	27168

⁵¹ De meeste slachtoffers bij een gaswolkexplosie vallen ook binnen de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk, waar een letaliteit van 100% geldt.

product	Vrijzettings-debiet [kg/s]	Rainout-fractie	Debiet rechtstreeks in atmosfeer [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettingsdebiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]
dimethylether	3042,8	5,85%	2864,8	3,30%	43456
methylchloride	4212,3	31,55%	2883,3	8,10%	16297
vinylchloride	4158,8	45,00%	2287,3	3,60%	23398
trimethylamine	2895,5	70,75%	846,9	2,00%	16320
methylvinylether	3422,3	80,80%	657,1	2,60%	9941
methylethylether	3186,4	83,70%	519,4	2,00%	9855

Tabel 2.3.3.5.13 Parameters die bepalend zijn voor de omvang van de brandbare wolk bij een uitstroming van de volledige inhoud van een opslagtank (3.000 m³) in 10 minuten

Voor een kleinere druktank van 200 m³ wordt het maximaal aantal doden bereikt voor een tank die gevuld is met propyleen (alle bestudeerde gassen) en 1-buteen (enkel C₄-gassen). Volgende verklaring wordt hiervoor gevonden:

- ❑ Voor de C₃-gassen wordt het maximaal aantal doden bekomen voor het scenario van een wolkbrand na een breuk van de opslagtank en dit voor weertype F20 overdag.
- ❑ In geval van een kleine opslagtank (< 1.000 m³) wordt de steady-state toestand van de brandbare wolk voor de faalwijze 'uitstroming in 10 minuten' meestal bereikt voor het einde van de vrijzettingsduur. De geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk bij een uitstroming van de opslagtank in 10 minuten is voor C₃-gassen echter beduidend kleiner dan voor het scenario van een breuk van de tank⁽⁵²⁾.
- ❑ De effecten van een gaswolkexplosie⁽⁵¹⁾ na een breuk van de opslagtank worden op een ander tijdstip bepaald, m.n. het tijdstip waarop de explosieve massa in de wolk het grootst is. Op dat tijdstip blijkt de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk echter nog niet zijn maximale omvang te hebben bereikt.
- ❑ De verhouding van het vrijgezette volume gas rechtstreeks in de atmosfeer (in m³) tot de onderste explosiegrens (m³/m³) is een maat voor de omvang van de brandbare wolk. Deze verhouding (zie tabel 2.3.3.5.14) is het grootst voor propyleen (alle bestudeerde gassen).

product	Vrijgezette massa [ton]	Rainout-fractie	Massa rechtstreeks in atmosfeer [ton]	LEL [vol%]	Instantane vrijzetting/LEL [(m ³)/(m ³ /m ³)]
propyleen	95	23,3%	72,8	2,15%	1861
propan	92,03	23,4%	70,5	2,10%	1756
propadieen	107,76	48,1%	55,9	2,20%	1465
cyclopropan	111,73	50,5%	55,3	2,40%	1266

⁵² Continue tweefazige vrijzettingen van gassen met een laag atmosferisch kookpunt (C₃-gassen) worden gekenmerkt door hoge jetsnelheden. Deze hoge jetsnelheid zorgt voor een sterke verdunning van het uistromende gas ter hoogte van de bron, waardoor de omvang van de brandbare wolk in geval van een continue uitstroming eerder beperkt is.

product	Vrijgezette massa [ton]	Rainout-fractie	Massa rechtstreeks in atmosfeer [ton]	LEL [vol%]	Instantane vrijzetting/LEL [(m ³)/(m ³ /m ³)]
isobutaan	102,06	64,5%	36,2	1,80%	791
isobuteen	108,68	76,2%	25,9	1,80%	585
1-buteen	108,55	78,3%	23,6	1,60%	600
1,3-butadieen	113,6	82,2%	20,3	1,69%	507
n-butaan	105,79	83,6%	17,3	1,60%	425
dimethylether	121,71	56,6%	52,8	3,30%	802
methylchloride	168,49	71,4%	48,2	8,10%	273
vinylchloride	166,35	78,7%	35,4	3,60%	362
trimethylamine	115,82	88,5%	13,3	2,00%	257
methylvinylether	136,89	92,4%	10,3	2,60%	157
methylethylether	127,46	93,6%	8,2	2,00%	156

Tabel 2.3.3.5.14 Parameters die bepalend zijn voor de omvang van de brandbare wolk bij een breuk van een opslagtank (200 m³)

- Voor de C₄-gassen wordt het maximaal aantal doden bekomen voor het scenario van een gaswolkexplosie na een uitstroming van de volledige inhoud van de opslagtank in een tijdsperiode van 10 minuten en dit voor weertype F20 overdag.
- In geval van een kleine opslagtank (< 1.000 m³) wordt de steady-state toestand van de brandbare wolk voor de faalwijze 'uitstroming in 10 minuten' meestal bereikt voor het einde van de vrijzettingsduur. De geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk bij een uitstroming van de opslagtank in 10 minuten is voor C₄-gassen iets groter dan voor het scenario van een breuk van de tank.
- Aangezien zowel de geprojecteerde oppervlakte als de explosieve massa van de brandbare wolk maximaal zijn op het einde van de vrijzettingsduur, wordt voor het scenario van een gaswolkexplosie een groter aantal slachtoffers verwacht dan voor het scenario van een wolkbrand.
- De verhouding van het vrijgezette volume gas rechtstreeks in de atmosfeer (in m³) tot de onderste explosiegrens (m³/m³) is in principe een maat voor de omvang van de brandbare wolk. Deze verhouding (zie voorlaatste kolom in tabel 2.3.3.5.15) is voor de C₄-gassen het grootst voor isobutaan gevolgd door 1-buteen. Echter, door het hogere verdampingsdebiet van de rainout-fractie (zie laatste kolom in tabel 2.3.3.5.15) is de omvang van de brandbare wolk van 1-buteen na combinatie van beide brontermen toch groter dan deze van isobutaan.

product	Vrijzettings- debiet [kg/s]	Rainout- fractie	Debiet rechtstreeks in atmosfeer [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettings- debiet/LEL [[m ³ /s] / (m ³ /m ³)]	Verdampings- debiet F20 (0-600s) [kg/s]
propyleen	158,3	0,00%	158,3	2,15%	60673	0,0
propaan	153,4	0,00%	153,4	2,10%	57306	0,0
propadieen	179,6	0,00%	179,6	2,40%	62689	0,0
cyclopropaan	186,2	1,85%	178,1	2,20%	70569	3,3
isobutaan	170,1	21,50%	132,5	1,80%	8094	13,5
isobuteen	181,1	41,85%	104,8	1,80%	6967	20,9
1-buteen	180,9	45,30%	98,5	1,60%	7500	21,5
1,3-butadieen	189,3	54,05%	86,7	1,69%	6544	23,9
n-butaan	176,3	58,05%	73,8	1,60%	6194	25,4
dimethylether	202,9	5,85%	187,8	3,30%	43456	5,7
methylchloride	280,8	31,55%	189,9	8,10%	16297	20,5
vinylchloride	277,3	45,00%	151,4	3,60%	23398	27,6
trimethylamine	193,0	70,75%	56,4	2,00%	16320	29,0
methylvinylether	228,2	80,80%	43,7	2,60%	9941	30,6
methylethylether	212,4	83,70%	34,6	2,00%	9855	31,9

Tabel 2.3.3.5.15 Parameters die bepalend zijn voor de omvang van de brandbare wolk bij een uitstroming van de volledige inhoud van een opslagtank (200 m³) in 10 minuten

CONCLUSIES – Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen voor bovengrondse opslagtanks met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen wordt vastgesteld dat het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van één druktank op het niveau van 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j het grootst is voor propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). Op het niveau van 10⁻⁵/j en 10⁻⁶/j is het plaatsgebonden mensrisico van één druktank beperkt groter voor de C₄-gassen.

Met betrekking tot het groepsrisico verschillen de berekende FN-curven voor de bestudeerde tot vloeistof verdichte gassen enkel van elkaar voor de scenario's die aanleiding geven tot een groot aantal doden. Bij grote opslagtanks (V ≥ 1.000 m³) wordt het maximaal aantal doden bereikt voor het scenario van een wolkbrand (of gaswolkexplosie) na een uitstroming van de gehele inhoud van de tank in een tijdspanne van 10 minuten en is dit aantal het grootst voor propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). Voor kleinere opslagtanks (V < 1.000 m³) wordt het maximaal aantal doden voor C₃-gassen bereikt voor het scenario van een wolkbrand (of gaswolkexplosie) na een breuk van de tank en is dit aantal het grootst voor propyleen (alle bestudeerde gassen). Voor C₄-gassen wordt het maximaal aantal doden bekomen voor het scenario van een gaswolkexplosie na een uitstroming van de gehele inhoud van de tank in een tijdspanne van 10 minuten en is dit aantal het grootst voor 1-buteen (enkel C₄-gassen).

2.3.3.5.2 Ingeterpte opslagtank

Tabellen 2.3.3.5.16 t.e.m. 2.3.3.5.21 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en drie parameters⁴⁷ die een maat zijn voor het groepsrisico⁴⁸ dat uitgaat van de bestudeerde ingeterpte cilindrische opslagtanks. Verder worden de berekende maximale effectafstanden getoond voor de scenario's die bepalend zijn voor de ligging van de $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ isorisicocontouren.

product	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	44	711	992	5,30E-05	2328	9,71E-03
propan	4	43	703	981	5,17E-05	2255	9,09E-03
propadieen	4	50	659	940	5,28E-05	3055	7,54E-03
cyclopropan	4	54	625	890	4,99E-05	2827	6,62E-03
isobutaan	4	68	505	725	4,49E-05	2787	3,96E-03
isobuteen	4	76	443	654	4,10E-05	2504	2,82E-03
1-buteen	4	77	434	677	4,15E-05	2624	2,70E-03
1,3-butadieen	5	78	400	636	3,88E-05	2351	2,20E-03
n-butaan	4	78	375	601	3,57E-05	2043	1,77E-03
dimethylether	4	51	482	691	4,13E-05	2094	4,87E-03
methylchloride	0	6	99	336	5,71E-06	482	5,21E-04
vinylchloride	4	58	320	480	3,27E-05	1739	2,85E-03
trimethylamine	4	74	306	477	2,83E-05	1463	9,90E-04
methylvinylether	4	71	263	386	2,38E-05	1025	6,90E-04
methylethylether	4	71	253	436	2,35E-05	1187	6,42E-04

Tabel 2.3.3.5.16 Risicoafstanden voor een ingeterpte opslagtank van 3.000 m³

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	1120	750 (109 ha)	1000 (233 ha)	1905 (760 ton)	1830 (800 ton)
propan	1110	740 (104 ha)	990 (227 ha)	1840 (695 ton)	1835 (724 ton)
propadieen	1040	695 (88 ha)	920 (194 ha)	1785 (674 ton)	1735 (692 ton)
cyclopropan	1000	625 (75 ha)	835 (162 ha)	1665 (494 ton)	1580 (506 ton)
isobutaan	780	550 (58 ha)	1140 (146 ha)	1525 (378 ton)	1450 (388 ton)
isobuteen	690	485 (45 ha)	1145 (149 ha)	1370 (296 ton)	1780 (356 ton)
1-buteen	670	500 (45 ha)	1235 (166 ha)	1355 (284 ton)	1840 (375 ton)
1,3-butadieen	620	460 (39 ha)	1205 (159 ha)	1315 (271 ton)	1835 (363 ton)
n-butaan	570	440 (34 ha)	1175 (159 ha)	1235 (202 ton)	1815 (355 ton)

product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
dimethylether	770	555 (62 ha)	710 (122 ha)	1495 (647 ton)	1420 (626 ton)
methylchloride	495	340 (26 ha)	410 (44 ha)	905 (299 ton)	910 (331 ton)
vinylchloride	520	410 (36 ha)	810 (93 ha)	1120 (441 ton)	1105 (435 ton)
trimethylamine	450	355 (24 ha)	995 (126 ha)	1045 (163 ton)	1545 (303 ton)
methylvinylether	345	300 (17 ha)	815 (92 ha)	885 (129 ton)	1310 (238 ton)
methylethylether	315	300 (17 ha)	945 (119 ha)	865 (102 ton)	1470 (275 ton)

Tabel 2.3.3.5.17 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een ingeterpte opslagtank van 3.000 m³

product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	890 (21 ha)	2125 (191 ha)	1440 (121 ton)	2810 (691 ton)	140 (138-145)
propaan	865 (20 ha)	2115 (194 ha)	1425 (116 ton)	2790 (691 ton)	137 (132-141)
propadieen	965 (31 ha)	2120 (294 ha)	1670 (198 ton)	3250 (1236 ton)	160 (156-163)
cyclopropan	900 (28 ha)	1995 (280 ha)	1585 (174 ton)	3175 (1151 ton)	170 (168-171)
isobutaan	775 (25 ha)	1655 (282 ha)	1440 (155 ton)	2720 (989 ton)	174 (157-188)
isobuteen	710 (22 ha)	1495 (252 ha)	1345 (132 ton)	2470 (809 ton)	189 (166-208)
1-buteen	750 (23 ha)	1515 (264 ha)	1360 (137 ton)	2455 (805 ton)	188 (165-198)
1,3-butadieen	700 (20 ha)	1455 (236 ha)	1325 (130 ton)	2390 (774 ton)	190 (164-212)
n-butaan	650 (18 ha)	1315 (205 ha)	1215 (97 ton)	2120 (571 ton)	188 (163-212)
dimethylether	700 (19 ha)	1850 (205 ha)	1310 (181 ton)	2520 (1018 ton)	157 (149-161)
methylchloride	350 (5 ha)	655 (28 ha)	700 (59 ton)	1205 (239 ton)	141 (131-144)
vinylchloride	495 (13 ha)	1375 (174 ha)	1025 (147 ton)	1890 (859 ton)	152 (140-162)
trimethylamine	495 (11 ha)	1130 (147 ha)	975 (68 ton)	1855 (472 ton)	180 (157-202)
methylvinylether	370 (7 ha)	905 (103 ha)	810 (50 ton)	1570 (395 ton)	185 (165-208)
methylethylether	410 (7 ha)	945 (108 ha)	800 (42 ton)	1585 (375 ton)	184 (156-212)

Tabel 2.3.3.5.18 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na een uitstroming van een ingeterpte tank van 3.000 m³ in 10 min. en fakkelbranden na een groot lek

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	4	21	225	322	6,99E-06	239	1,83E-04
propaan	4	20	216	309	6,64E-06	233	1,57E-04
propadieen	4	21	192	278	6,21E-06	200	1,22E-04
cyclopropan	4	21	183	263	5,80E-06	175	1,03E-04

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
isobutaan	4	22	137	207	5,03E-06	146	6,22E-05
isobuteen	4	22	123	187	4,96E-06	136	4,61E-05
1-buteen	4	23	120	185	4,98E-06	154	4,52E-05
1,3-butadien	4	23	115	169	4,78E-06	148	3,60E-05
n-butaan	4	23	109	160	4,48E-06	139	3,06E-05
dimethylether	4	18	131	199	5,18E-06	121	9,62E-05
methylchloride	0	5	23	120	6,80E-07	46	9,74E-06
vinylchloride	4	19	109	142	4,38E-06	73	5,89E-05
trimethylamine	4	22	91	133	3,79E-06	99	1,86E-05
methylvinylether	4	22	83	128	3,43E-06	65	1,36E-05
methylethylether	4	22	79	126	3,26E-06	78	1,03E-05

Tabel 2.3.3.5.19 Risicoafstanden voor een ingeterpte opslagtank van 200 m³

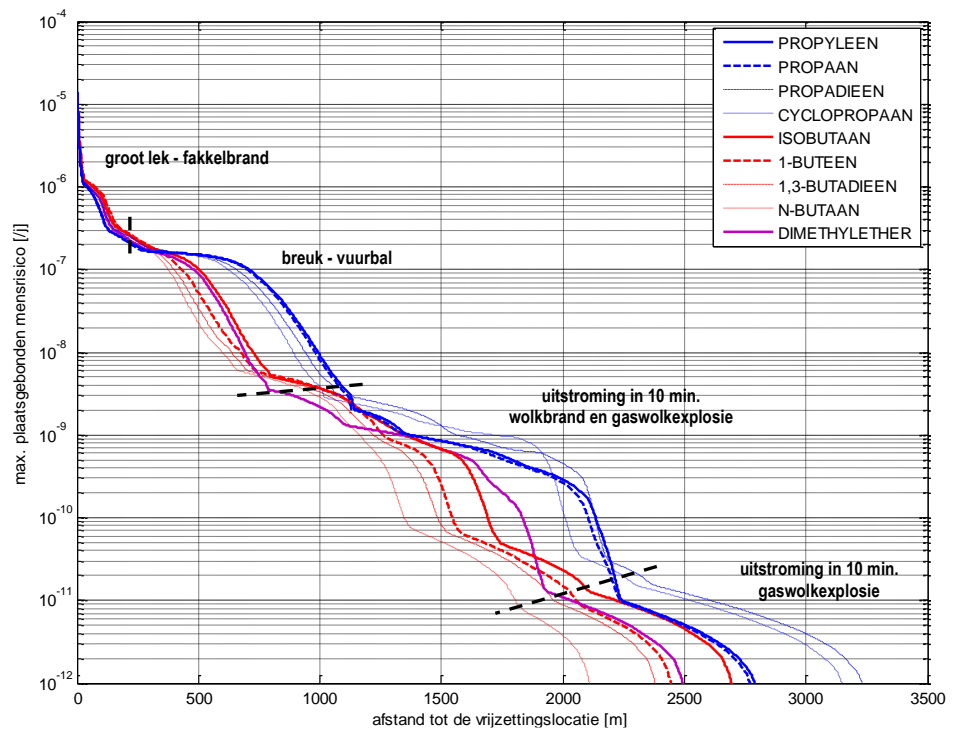
product	Vuurbal	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	375	270 (12,1 ha)	320 (24 ha)	755 (50 ton)	750 (53 ton)
propan	355	250 (11,7 ha)	315 (23 ha)	750 (46 ton)	715 (46 ton)
propadien	320	240 (9,9 ha)	290 (20 ha)	725 (44 ton)	705 (44 ton)
cyclopropan	305	225 (8,4 ha)	260 (16 ha)	685 (33 ton)	645 (34 ton)
isobutaan	230	190 (6,4 ha)	250 (14 ha)	610 (25 ton)	585 (26 ton)
isobuteen	200	175 (4,9 ha)	220 (11 ha)	560 (19 ton)	530 (18 ton)
1-buteen	195	175 (4,9 ha)	320 (11 ha)	545 (18 ton)	560 (18 ton)
1,3-butadien	180	165 (4,2 ha)	310 (11 ha)	515 (18 ton)	500 (17 ton)
n-butaan	165	150 (3,7 ha)	300 (11 ha)	480 (13 ton)	565 (15 ton)
dimethylether	225	195 (6,8 ha)	220 (12 ha)	585 (43 ton)	580 (39 ton)
methylchloride	135	120 (2,9 ha)	125 (4 ha)	360 (19 ton)	365 (22 ton)
vinylchloride	140	145 (3,9 ha)	170 (7 ha)	455 (29 ton)	430 (25 ton)
trimethylamine	125	130 (2,6 ha)	245 (8 ha)	425 (11 ton)	500 (12 ton)
methylvinylether	92	105 (1,8 ha)	200 (6 ha)	355 (8 ton)	420 (9 ton)
methylethylether	84	120 (1,8 ha)	225 (7 ha)	345 (6 ton)	455 (10 ton)

Tabel 2.3.3.5.20 Effectafstanden voor vuurballen, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een ingeterpte opslagtank van 200 m³

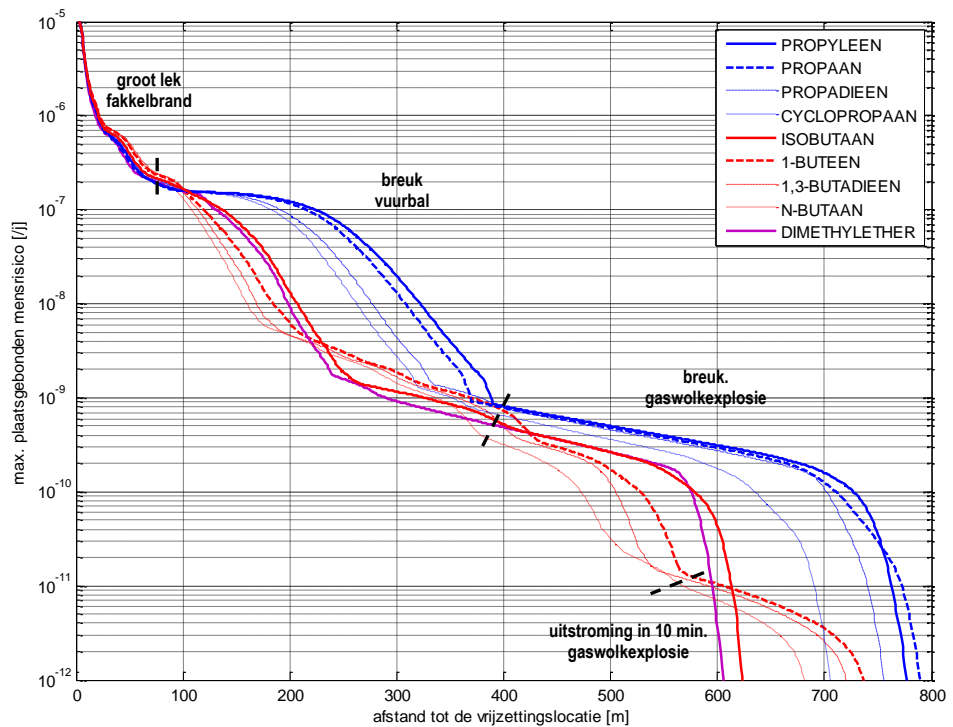
product	Wolkbrand		Gaswolkexplosie		Groot lek Fakkelbrand
	D50	F20	D50	F20	
propyleen	185 (0,6 ha)	330 (2,8 ha)	340 (1,9 ton)	515 (5,4 ton)	68 (66-69)
propaan	180 (0,6 ha)	325 (2,7 ha)	335 (1,8 ton)	515 (5,3 ton)	64 (62-68)
propadieen	205 (0,9 ha)	400 (5,1 ha)	390 (2,9 ton)	630 (9,8 ton)	67 (66-68)
cyclopropaan	195 (0,8 ha)	365 (4,7 ha)	370 (2,5 ton)	620 (9,7 ton)	69 (67-71)
isobutaan	180 (0,8 ha)	400 (9,3 ha)	360 (2,7 ton)	695 (17,4 ton)	71 (67-76)
isobuteen	165 (0,8 ha)	395 (10,8 ha)	350 (2,5 ton)	705 (19,6 ton)	75 (70-80)
1-buteen	175 (0,9 ha)	425 (12,6 ha)	355 (2,6 ton)	745 (21,9 ton)	75 (70-77)
1,3-butadieen	165 (0,8 ha)	400 (12 ha)	345 (2,5 ton)	725 (21,5 ton)	79 (74-81)
n-butaan	150 (0,7 ha)	375 (11,3 ha)	315 (1,9 ton)	685 (18,8 ton)	78 (71-82)
dimethylether	155 (0,5 ha)	285 (2,8 ha)	300 (2,3 ton)	480 (7,7 ton)	60 (60-61)
methylchloride	80 (0,1 ha)	130 (0,5 ha)	160 (0,7 ton)	240 (2 ton)	55 (52-57)
vinylchloride	115 (0,4 ha)	245 (4 ha)	255 (2,3 ton)	455 (11,9 ton)	64 (56-68)
trimethylamine	110 (0,4 ha)	275 (7,9 ha)	250 (1,3 ton)	565 (14,5 ton)	76 (70-79)
methylvinylether	80 (0,3 ha)	205 (5,1 ha)	205 (0,9 ton)	455 (10,2 ton)	76 (68-79)
methylethylether	90 (0,3 ha)	235 (6,5 ha)	200 (0,7 ton)	480 (10,8 ton)	77 (67-82)

Tabel 2.3.3.5.21 Effectafstanden voor wolkbranden, gaswolkexplosies en fakkelbranden na een volledige uitstroming van een ingeterpte opslagtank van 200 m³ in 10 minuten

BESPREKING VAN DE RESULTATEN – Figuren 2.3.3.5.5 en 2.3.3.5.6 tonen het maximale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een ingeterpte druktank van respectievelijk 3.000 m³ en 200 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettingslocatie voor een beperkt aantal tot vloeistof verdichte gassen en geeft aan welke ongevalsscenario's bepalend zijn op een zekere afstand van de bron.



Figuur 2.3.3.5.5 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een ingeterpte druktank van 3.000 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie



Figuur 2.3.3.5.6 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een ingeterpte druktank van 200 m³ in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie

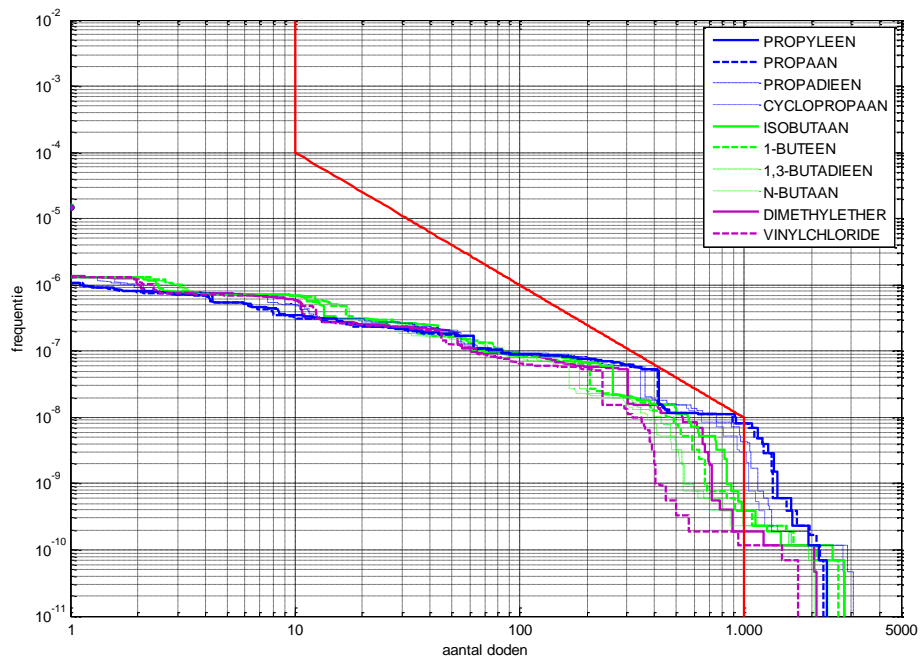
Op het niveau van 10^{-6} /j is het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van alle bestudeerde druktanks het grootst voor de C₄-gassen. Hiervoor kunnen dezelfde redenen worden aangehaald als voor bovengrondse druktanks (zie § 2.3.3.5.1).

Op het niveau van 10^{-7} /j en 10^{-8} /j is het plaatsgebonden risico steeds het grootst voor propyleen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). De redenen hiervoor zijn de volgende:

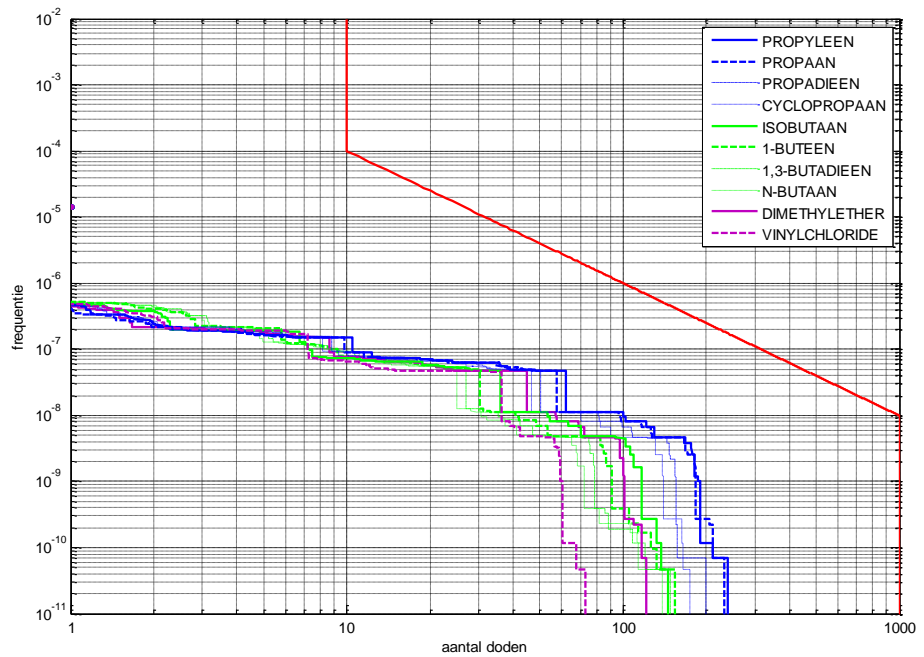
- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10^{-7} /j en 10^{-8} /j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een vuurbal na een koude BLEVE van de opslagtank.
- ❑ De effecten van een vuurbal worden bepaald door de massa die betrokken is in de vuurbal en de stralingswarmteflux van de vuurbal.
- ❑ De stralingswarmteflux van de vuurbal is evenredig met de verbrandingswarmte van het gas die beduidend hoger is voor de C₃- en C₄-gassen, in vergelijking met de gassen met hetero-atomen. Verder neemt de uitgestraalde warmteflux toe met de faaldruk van de opslagtank. Deze is het hoogst voor de C₃-gassen.
- ❑ De massa betrokken in de vuurbal neemt toe met de vloeistofdichtheid van het tot vloeistof verdichte gas en met de flash-fractie van het product⁽⁵³⁾, berekend bij de faalcondities van een koude BLEVE. Het product van de vloeistofdichtheid en de flashfractie (evenwel beperkt tot 33,3%) is het grootst voor propyleen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen).

Figuren 2.3.3.5.7 en 2.3.3.5.8 tonen het berekende groepsrisico van een ingeterpte cilindrische druktank van 3.000 m³ en 200 m³ in een omgeving met een uniforme populatie (max. 10 pers/ha, hoofdzakelijk binnen). De berekende FN-curven voor de bestudeerde gassen verschillen enkel van elkaar voor de scenario's die aanleiding geven tot een groot aantal doden.

⁵³ Voor zover deze flash-fractie kleiner is dan 33,3%.



Figuur 2.3.3.5.7 groepsrisico voor ingeterpte druktank van 3.000 m³ in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is



Figuur 2.3.3.5.8 groepsrisico voor ingeterpte druktank van 200 m³ in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is

Voor een ingeterpte druktank van 3.000 m³ wordt het maximaal aantal doden bereikt voor een tank die gevuld is met propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). Hiervoor kunnen dezelfde redenen worden aangehaald als voor een bovengrondse druktank van 3.000 m³ (zie § 2.3.3.5.1).

Voor een kleinere ingeterpte druktank van 200 m³ wordt het maximaal aantal doden bereikt voor een tank die gevuld is met propyleen (alle bestudeerde gassen) en 1-buteen (enkel C₄-gassen). Opnieuw kunnen hiervoor dezelfde redenen worden aangehaald als voor een bovengrondse druktank van 3.000 m³ (zie § 2.3.3.5.1).

CONCLUSIES – Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen voor een ingeterpte opslagtank met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen wordt vastgesteld dat het plaatsgebonden mensrisico van één opslagtank op het niveau van 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j het grootst is voor propyleen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen). Op het niveau van 10⁻⁵/j en 10⁻⁶/j is het plaatsgebonden mensrisico van één druktank groter voor de C₄-gassen.

Met betrekking tot het groepsrisico zijn de vaststellingen en conclusies analoog als voor bovengrondse opslagtanks (zie § 2.3.3.5.1).

2.3.3.5.3 Scheepsverlading

Tabellen 2.3.3.5.22 en 2.3.3.5.23 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j en drie parameters⁴⁷ die een maat zijn voor het groepsrisico⁴⁸ dat uitgaat van voor een scheepslossing van een tot vloeistof verdicht gas via een 6" losarm (300 m³/h) gedurende 3.000 uren per jaar. Verder worden de berekende maximale effectafstanden getoond voor de scenario's die bepalend zijn voor de ligging van de 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j isorisicocontouren.

product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings-waarde	max. doden	max(Fd ²)
propyleen	51	88	139	194	6,46E-05	12	2,65E-05
propaan	54	88	140	195	6,81E-05	12	2,58E-05
propadieen	62	108	182	239	9,21E-05	21	5,56E-05
cyclopropaan	65	103	169	233	9,77E-05	27	7,54E-05
isobutaan	71	102	197	253	1,30E-04	59	2,26E-04
isobuteen	76	102	193	256	1,47E-04	92	2,58E-04
1-buteen	75	103	197	267	1,48E-04	110	2,64E-04
1,3-butadieen	79	104	180	259	1,55E-04	121	2,97E-04
n-butaan	76	102	164	246	1,47E-04	114	2,62E-04

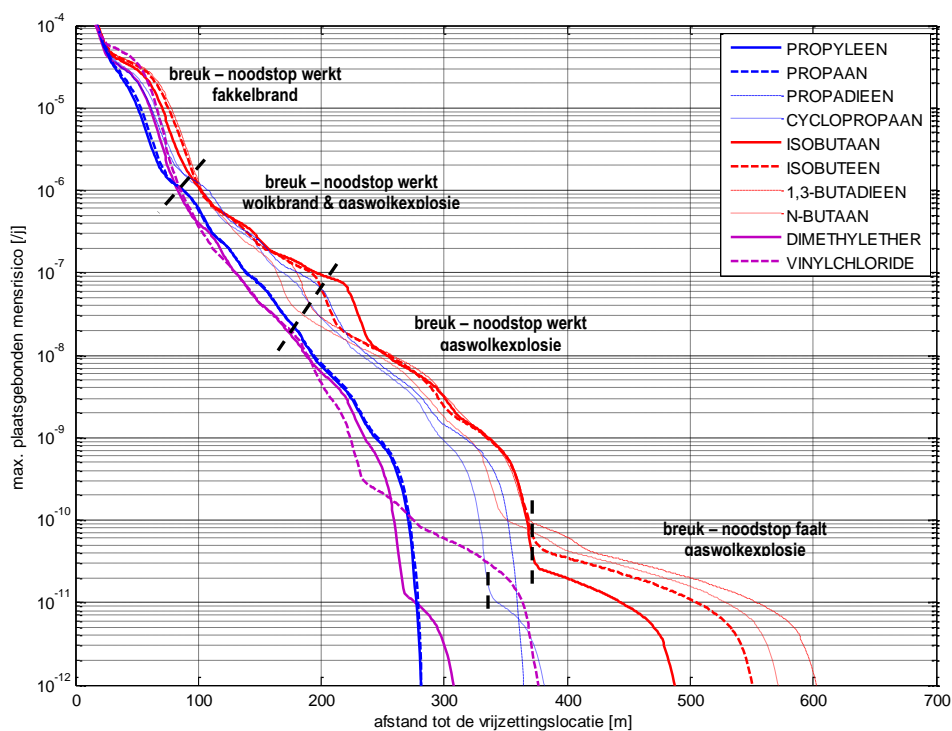
product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
dimethylether	61	84	131	188	8,93E-05	17	8,26E-05
methylchloride	18	60	72	86	1,34E-05	3	1,81E-05
vinylchloride	66	86	131	191	1,40E-04	46	1,99E-04
trimethylamine	75	96	132	210	1,38E-04	100	2,48E-04
methylvinylether	76	95	110	172	1,34E-04	88	2,57E-04
methylethylether	74	93	111	174	1,30E-04	106	2,30E-04

Tabel 2.3.3.5.22 Risicoafstanden voor een 6" losarm voor schepen (3.000 h/j),
uitgaande van een ongehinderde uitstroming

product	Fakkelbrand	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
propyleen	68 (67 - 72)	110 (0,16 ha)	165 (0,5 ha)	200 (0,40 ton)	270 (0,9 ton)
propaan	71 (69 - 75)	105 (0,16 ha)	165 (0,5 ha)	195 (0,39 ton)	270 (0,9 ton)
propadieen	82 (81 - 86)	125 (0,27 ha)	215 (1,2 ha)	240 (0,67 ton)	350 (1,8 ton)
cyclopropaan	86 (84 - 87)	120 (0,24 ha)	190 (1,0 ha)	230 (0,64 ton)	325 (1,7 ton)
isobutaan	93 (90 - 97)	110 (0,29 ha)	235 (2,5 ha)	235 (0,72 ton)	365 (2,8 ton)
isobuteen	103 (91 - 107)	105 (0,28 ha)	205 (2,7 ha)	220 (0,66 ton)	365 (2,9 ton)
1-buteen	101 (91 - 111)	110 (0,31 ha)	205 (3,0 ha)	230 (0,71 ton)	370 (3,2 ton)
1,3-butadieen	106 (97 - 113)	100 (0,28 ha)	185 (2,7 ha)	215 (0,66 ton)	360 (3,0 ton)
n-butaan	104 (93 - 116)	95 (0,25 ha)	170 (2,5 ha)	205 (0,51 ton)	340 (2,7 ton)
dimethylether	79 (78 - 81)	95 (0,16 ha)	140 (0,6 ha)	190 (0,58 ton)	255 (1,3 ton)
methylchloride	74 (69 - 77)	45 (0,03 ha)	60 (0,1 ha)	95 (0,12 ton)	115 (0,2 ton)
vinylchloride	83 (74 - 86)	70 (0,12 ha)	105 (0,5 ha)	155 (0,50 ton)	225 (1,5 ton)
trimethylamine	104 (91 - 113)	70 (0,15 ha)	135 (1,7 ha)	160 (0,34 ton)	295 (2,1 ton)
methylvinylether	104 (93 - 111)	50 (0,08 ha)	100 (1,0 ha)	125 (0,22 ton)	240 (1,5 ton)
methylethylether	101 (90 - 107)	55 (0,10 ha)	110 (1,3 ha)	130 (0,19 ton)	240 (1,5 ton)

Tabel 2.3.3.5.23 Effectafstanden voor wolkbranden en gaswolkexplosies na falen
van een 6" vaste losarm voor schepen met werkend noodstopstelsel

BESPREKING VAN DE RESULTATEN – Figuur 2.3.3.5.9 toont het maximale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een 6" verlaadarm voor schepen (300 m³/h, 3.000 h/j) in functie van de afstand tot de vrijzettingslocatie voor een beperkt aantal tot vloeistof verdichte gassen en geeft aan welke ongevalscenario's bepalend zijn op een zekere afstand van de bron.



Figuur 2.3.3.5.9 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een 6" verlaadarm voor schepen (300 m³/h, 3.000 h/j) in functie van de afstand tot de vrijzittingslocatie

Op het niveau van 10⁻⁵/j is het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van de bestudeerde verladingsactiviteit het grootst voor de C₄-gassen. Volgende verklaringen kunnen hiervoor worden gegeven:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10⁻⁵/j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een fakkelbrand na een breuk van de verlaadarm met een werkend noodstopsysteem.
- ❑ De effecten van een fakkel worden enerzijds bepaald door de omvang van de vlam (vlamdiameter en -hoogte) en anderzijds door de stralingswarmteflux van de vlam.
- ❑ Zowel de vlamlengte als -diameter van een fakkel nemen toe met een toenemende diameter van de jet en nemen af met een toenemende snelheid van de jet na expansie. Bij een vrijzetting van een tot vloeistof verdicht gas via een korte leiding is de jetdiameter het grootst en de jetsnelheid het laagst voor gassen met een hoog atmosferisch kookpunt (zoals n-butaan en 1,3-butadieen).
- ❑ Voor alle bestudeerde ontvlambare gassen wordt de stralingswarmteflux van de fakkel verder begrensd op 400 kW/m².

Op het niveau van 10⁻⁶/j is het plaatsgebonden risico het grootst voor de C₄-gassen, propadieen en cyclopropan. De redenen hiervoor zijn de volgende:

- Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van $10^{-6}/j$ bepaald door de scenario's van een fakkelbrand en een wolkbrand na een breuk van de verlaadarm met een werkend noodstopsysteem.
- De omvang van de brandbare wolk die wordt bekomen na een breuk van een verlaadarm met een werkend noodstopsysteem wordt hoofdzakelijk bepaald door het vrijzettings-debiet dat rechtstreeks in de atmosfeer wordt vrijgezet⁵⁴ en de onderste explosiegrens van het gas, maar ook door de snelheid van de geëxpandeerde jet. Een hogere jetsnelheid resulteert in een sterkere verdunning van het uitstromende gas dicht bij de bron en bijgevolg in een kleinere brandbare wolk. Aangezien de verhouding van het vrijzettingsdebiet tot de onderste explosiegrens maximaal een factor twee hoger is voor de C₃-gassen in vergelijking met de C₄-gassen (m.u.v. n-butaan) en de jetsnelheden voor de C₄-gassen (m.u.v. isobutaan) minstens een factor 3 lager zijn dan voor de C₃-gassen (zie tabel 2.3.3.5.24), worden de grootste brandbare wolken teruggevonden voor de C₄-gassen.
- Gelet op de iets lagere onderste explosiegrens van 1-buteen ten opzichte van isobuteen en 1,3-butadien worden de grootste effecten van een wolkbrand en een gaswolkexplosie over het algemeen teruggevonden voor 1-buteen.

product	Vrijzettings-debiet [kg/s]	Rainout-fractie	Debiet rechtstreeks in atmosfeer [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettings-debiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]	Jet-snelheid [m/s]
propyleen	65,7	0,0%	65,7 (0)	2,15%	1679,0	154,5
propaan	63,7	0,0%	63,7 (0)	2,10%	1586,7	140,1
propadieen	74,7	0,0%	74,7 (0)	2,40%	1956,6	110,1
cyclopropaan	77,4	5,0%	73,6 (2,2)	2,20%	1683,4	98,5
isobutaan	70,8	22,2%	55,1 (5,9)	1,80%	1202,8	42,6
isobuteen	75,4	42,2%	43,6 (7,5)	1,80%	986,2	32,1
1-buteen	75,3	45,6%	40,9 (7,7)	1,60%	1041,5	31,5
1,3-butadien	78,8	54,3%	36,1 (7,7)	1,69%	901,9	27,2
n-butaan	73,4	58,2%	30,8 (7,5)	1,60%	753,0	22,4
dimethylether	84,4	7,8%	77,8 (3,1)	3,30%	1179,6	72,3
methylchloride	116,9	32,6%	78,7 (product zinkt)	8,10%	445,1	52,4
vinylchloride	115,4	45,5%	63,0 (6,0)	3,60%	644,3	33,5

⁵⁴ Als gevolg van de korte vrijzettingsduur bij een werkend noodstopsysteem blijft het representatieve verdampingsdebiet (vanuit de rainout-fractie) eerder beperkt. De vrijzetting houdt immers niet lang genoeg aan om een evenwicht te bereiken tussen het vrijzettingsdebiet (rainout-fractie) en het verdampingsdebiet.

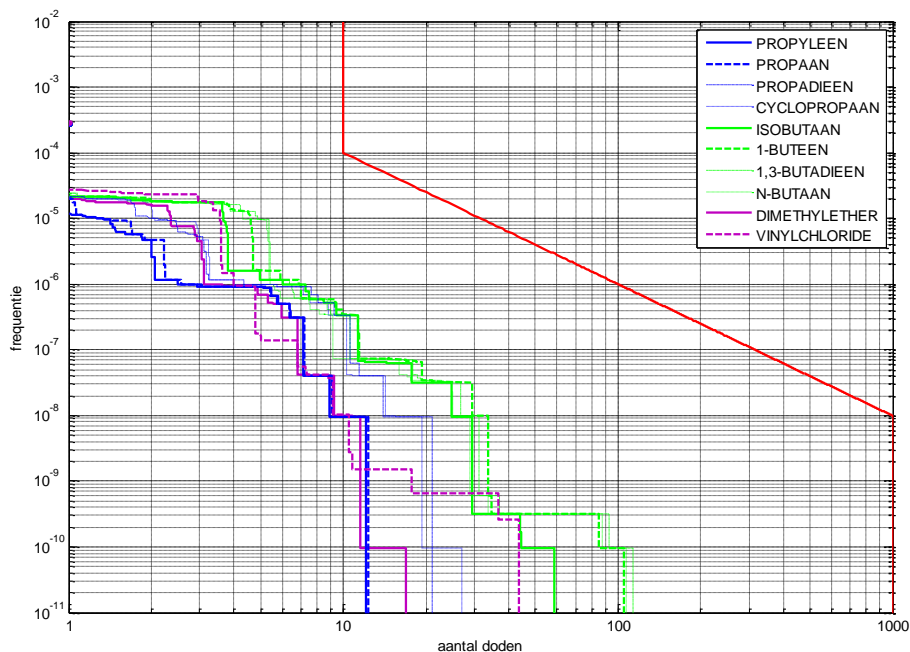
product	Vrijzettings-debiet [kg/s]	Rainout-fractie	Debiet rechtstreeks in atmosfeer [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettings-debiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]	Jet-snelheid [m/s]
trimethylamine	80,4	70,8%	23,5 (7,4)	2,00%	452,4	16,7
methylvinylether	95,0	80,9%	18,2 (6,8)	2,60%	275,7	13,3
methylethylether	88,5	83,7%	14,4 (7,2)	2,00%	273,6	12,2

Tabel 2.3.3.5.24 Parameters die bepalend zijn voor de omvang van de brandbare wolk bij een breuk van een verlaadarm met een werkend noodstopstelsel

Ook op het niveau van $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ is het plaatsgebonden risico het grootst voor de C₄-gassen. De redenen hiervoor zijn de volgende:

- Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een gaswolkexplosie na een breuk van de verlaadarm met een werkend noodstopstelsel.
- De effecten van een gaswolkexplosie na een breuk van een verlaadarm zijn omwille van de redenen die in de voorgaande paragraaf worden aangehaald het grootst voor de C₄-gassen.

Figuur 2.3.3.5.10 toont het berekende groepsrisico van een 6" verlaadarm die wordt gebruikt bij de verlading van schepen (300 m³/h, 3.000 h/j) in een omgeving met een uniforme populatie (max. 10 pers/ha, hoofdzakelijk binnen).



Figuur 2.3.3.5.10 groepsrisico voor een 6" verlaadarm voor schepen (300 m³/h, 3.000 h/j) in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is

Voor de 6" verlaadarm (300 m³/h, 3.000 h/j) wordt het maximaal aantal doden bereikt voor 1,3-butadieen, gevolgd door n-butaan en 1-buteen (alle bestudeerde gassen). Volgende verklaring wordt hiervoor gevonden:

- ❑ Het maximaal aantal doden wordt bekomen voor het scenario van een gaswolkexplosie na een breuk van de verlaadarm met een falend noodstopsysteem en dit voor weertype F20 overdag.
- ❑ Het specifiek verdampingsdebiet van een kokende vloeistofplas (rainout-fractie) op water is vrij hoog, blijft – in tegenstelling tot een vrijzetting op land – constant en wordt bepaald door de verdampingswarmte en het atmosferisch kookpunt van het gas. Gelet op het constante specifieke verdampingsdebiet op water wordt bij een langdurige vrijzetting (noodstop faalt) na een zekere tijd een evenwicht bereikt tussen het vrijzettings- en het verdampingsdebiet, waardoor de kokende plas in een steady-state toestand terechtkomt en de plas niet verder zal uitbreiden. Onder dergelijke omstandigheden (langdurige vrijzetting op water) zal het representatieve verdampingsdebiet min of meer gelijk zijn aan het vrijzettingsdebiet (rainout-fractie).
- ❑ Een vrijzetting vanuit een kokende of verdampende plas wordt, in tegenstelling tot een vrijzetting in de vorm van een tweefasige jet, gekenmerkt door een lage vrijzettingssnelheid, waardoor de initiële verdunning ter hoogte van de bron eerder beperkt is. Voor eenzelfde vrijzettingsdebiet is de omvang van de brandbare wolk bij een verdampende plas daardoor groter dan bij een tweefasige jet.
- ❑ De verhouding van het representatief verdampingsdebiet (in m³/s) tot de onderste explosiegrens (m³/m³) is een maat voor de omvang van de brandbare wolk die zich vormt vanuit de rainout-fractie. Deze verhouding (zie tabel 2.3.3.5.25) is voor de faalwijze 'breuk met falend noodstopsysteem' het grootst voor methylethylether, gevolgd door 1,3-butadieen en n-butaan.
- ❑ De geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk die zich vormt vanuit de rainout-fractie blijkt ook effectief het grootst te zijn voor methylethylether. Echter, na combinatie van beide brontermen (tweefasige jet en verdampende plas) wordt de grootste geprojecteerde oppervlakte bekomen voor 1,3-butadieen gevolgd door 1-buteen.

product	Vrijzettingsdebiet [kg/s]	Rainout-fractie	Verdampingsdebiet (debiet rechtstreeks in atmosfeer) [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettingsdebiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]
propyleen	65,7	0,0%	0,0 (65,7)	2,15%	0,0 (1679)
propaan	63,7	0,0%	0,0 (63,7)	2,10%	0,0 (1587))
propadieen	74,7	0,0%	0,0 (74,7)	2,40%	0,0 (1957)
cyclopropaan	77,4	5,0%	3,7 (73,6)	2,20%	84,6 (1683)

product	Vrijzettings-debiet [kg/s]	Rainout-fractie	Verdampingsdebiet (debiet rechtstreeks in atmosfeer) [kg/s]	LEL [vol%]	Vrijzettings-debiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]
isobutaan	70,8	22,2%	14,9 (55,1)	1,80%	325,1 (1203)
isobuteen	75,4	42,2%	29,0 (43,6)	1,80%	655,9 (986)
1-buteen	75,3	45,6%	31,2 (40,9)	1,60%	793,9 (1042)
1,3-butadieen	78,8	54,3%	37,9 (36,1)	1,69%	947,8 (902)
n-butaan	73,4	58,2%	37,5 (30,8)	1,60%	918,3 (753)
dimethylether	84,4	7,8%	6,3 (77,8)	3,30%	95,6 (1180)
methylchloride	116,9	32,6%	product zinkt (78,7)	8,10%	- (445)
vinylchloride	115,4	45,5%	48,5 (63,0)	3,60%	496,1 (644)
trimethylamine	80,4	70,8%	47,5 (23,5)	2,00%	915,3 (452)
methylvinylether	95,0	80,9%	59,9 (18,2)	2,60%	906,2 (276)
methylethylether	88,5	83,7%	58,3 (14,4)	2,00%	1106,3 (274)

Tabel 2.3.3.5.25 Parameters die bepalend zijn voor de omvang van de brandbare wolk bij een breuk van een verlaadarm met een werkend noodstopstelsel

CONCLUSIES – Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen voor een 6" verlaadarm die wordt aangewend bij de scheepsverlading van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen wordt vastgesteld dat het plaatsgebonden mensrisico het grootst is voor de C₄-gassen, waarbij 1,3-butadieen (niveau: 10⁻⁵/j en 10⁻⁶/j) en 1-buteen (niveau: 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j) als een representatieve stof kunnen worden aanzien.

Ook met betrekking tot het groepsrisico, worden de meest kritische FN-curven bekomen voor de C₄-gassen, waarbij een scheepsverlading van 1,3-butadieen resulteert in het grootste aantal slachtoffers.

2.3.3.6 Conclusies voor tot vloeistof verdichte gassen

Op basis van de risico- en effectberekeningen die in deze casestudie worden uitgevoerd, wordt besloten dat het niet mogelijk is om één representatief ontvlambaar tot vloeistof verdicht gas te identificeren waarvan het berekende risico voor een willekeurige installatie (type/grootte) – met de verschillende risicocriteria in het achterhoofd – steeds conservatief is.

Dit is een gevolg van het feit dat (1) meerdere ongevalsscenario's⁵⁵ bepalend zijn voor het risico dat uitgaat van een installatie met een ontvlambaar tot vloeistof verdicht gas en (2) de bepalende

⁵⁵ Fakkelflammen, BLEVE's en wolkbranden/gaswolkexplosies.

ongevalscenario's functie zijn van de risicomaat⁵⁶, het risiconiveau⁵⁷ en het bestudeerde installatietype. Voor een opslagdruktank wordt het plaatsgebonden mensrisico van $10^{-6}/j$ bijvoorbeeld bepaald door het scenario van een groot lek aan de tank gevolgd door een fakkelbrand, wordt het plaatsgebonden mensrisico van 10^{-7} en $10^{-8}/j$ bepaald door het scenario van een breuk van de tank gevolgd door een vuurbal en wordt het groepsrisico hoofdzakelijk bepaald door scenario's van een wolkbrand en een gaswolkexplosie na een breuk of een volledige uitstroming van de tank in een tijdspanne van 10 minuten.

Aangezien het in de praktijk zeer omslachtig is om voor elk ongevalscenario een andere representatieve stof te selecteren, wordt hieronder een pragmatische manier van werken voorgesteld waarbij prioritair rekening wordt gehouden met de impact van een stof op het plaatsgebonden mensrisico van een installatie en in mindere mate met de impact op het groepsrisico van een installatie. Deze keuze is ingegeven door het feit dat het groepsrisico niet enkel wordt bepaald door de installaties met gevaarlijke stoffen binnen de Seveso-inrichting, maar ook door de verdeling van de populatie⁵⁸ buiten de inrichting.

Omdat de risico's in de bovenstaande paragrafen berekend zijn voor één opslagtank en in een reële situatie doorgaans meerdere opslagtanks met gelijkaardige producten op korte afstand van elkaar aanwezig zijn, wordt verder voorgesteld om bij de keuze van een representatieve stof prioritair te kijken naar de risiconiveaus van $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$.

Uitgaande van deze pragmatische overwegingen worden volgende representatieve stoffen voorgesteld op basis van de resultaten die in deze casestudie worden bekomen:

- ❑ propadieen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen) voor de opslag van ontvlambare tot vloeistof verdichte gassen in bovengrondse druktanks;
- ❑ propyleen (alle bestudeerde gassen) en isobutaan (enkel C₄-gassen) voor de opslag van ontvlambare tot vloeistof verdichte gassen in ingeterpte druktanks;
- ❑ 1-buteen (alle bestudeerde gassen) en propadieen (enkel C₃-gassen) voor een scheepsverlading van ontvlambare tot vloeistof verdichte gassen met behulp van armen of flexibele slangen.

Wanneer enkel de op- en overslag van LPG (mengsels van propaan, isobutaan en n-butaan) wordt beoogd, dan kunnen op een gelijkaardige wijze volgende representatieve stoffen worden voorgesteld op basis van de resultaten die in deze casestudie worden bekomen:

- ❑ isobutaan voor de opslag van LPG in bovengrondse druktank met een volume groter dan 500 m³;

⁵⁶ Plaatsgebonden mensrisico of groepsrisico.

⁵⁷ Risiconiveau van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$ of $10^{-7}/j$ voor het plaatsgebonden mensrisico en max. aantal slachtoffers (N) of max. F·N²-waarde voor het groepsrisico.

⁵⁸ De populatiedichtheid rond een Seveso-inrichting kan bijvoorbeeld verre van uniform zijn, waardoor de berekende parameters voor het groepsrisico (max. aantal slachtoffers of max. F·N²-waarde) sterk kunnen afwijken van de waarden die in dit rapport worden vermeld.

- propan voor de opslag van LPG in een ingeterpte druktank of in een bovengrondse druktank met een volume kleiner of gelijk aan 500 m³;
- isobutaan voor een scheepsverlading van LPG met armen of flexibele slangen.

2.3.4 Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

2.3.4.1 Bestudeerde stoffen

De tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen waarvoor in deze studie effect- en risicoberekeningen worden uitgevoerd, worden opgelijst in onderstaande tabel. De stoffen worden in deze en volgende tabellen gerangschikt op basis van het kookpunt, waarbij de stof met het laagste kookpunt bovenaan staat. Bij de selectie van de stoffen is rekening gehouden met de tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen waarvoor in recente omgevingsveiligheidsrapporten risicoberekeningen werden uitgevoerd. De stoffeigenschappen zijn onttrokken uit de DIPPR-database, versie 2018.

stofnaam	CAS-nr.	Kookpunt [°C]	Vloeistof-dichtheid @ kookpunt [kg/m ³]	Dampdichtheid @ omgevings-temperatuur [kg/m ³]	LEL [vol%]	UEL [vol%]	ΔH _c [MJ/kg]	ΔH _v [kJ/kg]
methaan*	74-82-8	-161,49	422,5	0,68	5,00	15,0	50,0	509,4
ethyleen	74-85-1	-103,74	568,8	1,20	2,70	36,0	47,2	480,8
ethaan	74-84-0	-88,60	544,4	1,29	3,00	12,4	47,5	488,1
propyleen	115-07-1	-47,70	611,6	1,82	2,15	11,2	45,8	445,1
propan	74-98-6	-42,04	582,5	1,91	2,10	9,5	46,3	425,0
isobutaan	75-28-5	-11,72	594,4	2,55	1,80	8,4	45,6	365,3
isobuteen	115-11-7	-6,90	626,5	2,46	1,80	9,6	45,0	392,9
1-buteen	106-98-9	-6,24	625,5	2,46	1,60	10,0	45,3	393,0
n-butaan	106-97-8	-0,50	602,4	2,55	1,60	8,4	45,7	385,5

(*) Dit gas behoort tot de categorie van de 'brandbare gassen met een lage reactiviteit' waarvoor conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* lagere ontstekingskansen worden gehanteerd. De ontstekingskansen zijn afhankelijk van het vrijzettingsdebiet en zijn een factor 2 tot 10 lager dan deze voor de andere brandbare gassen.

Tabel 2.3.4.1.1 Selectie van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen die worden bestudeerd in de casestudie

2.3.4.2 Bestudeerde installatie-onderdelen

De installaties die worden beschouwd in de casestudie 'Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen' zijn installaties die typisch worden aangewend voor de op- of overslag van dergelijke gassen op een Seveso-inrichting. Concreet worden volgende installaties bestudeerd in de casestudie⁵⁹:

- volledig omsloten atmosferisch opslagtanks (type FC2)

⁵⁹ Verladingen van tankwagens worden hier niet beschouwd.

- een vaste arm voor het lossen van schepen

VOLLEDIG OMSLOTEN ATMOSFERISCHE OPSLAGTANKS – In de casestudie worden twee atmosferische opslagtanks voor tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen met een betonnen buitentank bestudeerd met een volume van respectievelijk 20.000 en 50.000 m³. De specificaties van de beschouwde opslagtanks worden opgelijst in onderstaande tabel.

Volume [m ³]	Diameter binnentank [m]	Tankhoogte [m]	Max. vullingsgraad [%]
20.000	32,6	24,0	100
50.000	49,0	26,5	100

Tabel 2.3.4.2.1 Specificaties van de beschouwde atmosferische opslagtanks in de casestudie ‘Tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen’

Met betrekking tot de opslagtemperatuur en de dampdruk in de tank wordt aangenomen dat de vloeibare gassen worden opgeslagen op hun kooktemperatuur⁶⁰.

Voor atmosferische opslagtanks van het type FC2 worden conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* twee faalwijzen bestudeerd, m.n. een breuk en een uitstroming in een tijdspanne van 10 minuten van het volledige tanksysteem waarbij telkens 10% van de inhoud vrijkomt.

LOSARM SCHEPEN – Met betrekking tot de overslag van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen wordt in de casestudie een 10” (250 mm) vaste losarm voor schepen bestudeerd. Het nominaal verladingsdebiet en de opvoerdruk van de pomp bedragen respectievelijk 1.200 m³/h en 5 barg. Bij een incidentele vrijzetting kan de losarm via een automatische noodstop worden ingeblokt (reactietijd: 120 s; faalkans: 0,01 per aanspraak). Verder wordt aangenomen dat er stroomafwaarts van de losarm maatregelen zijn genomen om terugstroming vanuit de opslagtank te verhinderen bij het falen van de verlaadinstallatie.

Er wordt verondersteld dat de losarm voor schepen gedurende 3.000 uren per jaar wordt gebruikt.

2.3.4.3 Rekenmethode en aangewende modellen

UITSTROMING – De uitstroming van een tot vloeistof gekoeld gas op zijn kooktemperatuur uit een atmosferisch bedreven opslagtank is gelijkaardig als de uitstroming van een vloeistof uit een tank en wordt berekend met behulp van de vergelijking van Bernoulli voor onsamendrukbare fluïda (zie § 2.3.2.3).

Bij een breuk van een flexibele verlaadslang, wordt het uitstroomdebiet gelijkgesteld aan 1,5 keer het nominaal verlaaddebiet. Verder wordt bij een breuk van de slang geen rekening gehouden met een eventuele terugstroming vanuit de te beladen opslagtank. Bij een lek aan de flexibele

⁶⁰ In de praktijk worden dergelijke tot vloeistof gekoelde gassen opgeslagen bij een tankdruk van 50 tot 150 mbarg en bevindt het product zich aldus 1 à 2°C boven zijn atmosferisch kookpunt. De berekende flashfracties bij deze temperatuur bedragen minder dan 1% en zijn verwaarloosbaar in de berekeningen.

verlaadslang wordt het uitstroomdebiet bepaald met de vergelijking van Bernouilli, uitgaande van een druk in de slang van 5 barg en een verliescoëfficiënt van 0,62.

VERDAMPING – Indien een cryogene vloeistof terecht komt op een ondergrond die zich op een temperatuur bevindt die voldoende boven het kookpunt van de vloeistof ligt, zal de vloeistof koken. Hierbij worden er dampbellen gevormd aan het contactoppervlak tussen de ondergrond en de vloeistof. Deze dampbellen bewegen zich opwaarts doorheen de vloeistof om doorheen het vloeistofoppervlak in de omgevende lucht terecht te komen. De energie die nodig is om de vloeistof te doen koken wordt onttrokken aan de ondergrond die daardoor afkoelt, waardoor de drijvende kracht voor de verdamping afneemt en bijgevolg ook het verdampingsdebiet afneemt⁶¹. De warmteflux wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen de ondergrond en de kokende vloeistof (die zich op het kookpunt bevindt) en de thermische weerstand tussen beide.

Het verdampingsdebiet wordt voor een kokende plas berekend door te stellen dat de plastemperatuur constant blijft (m.n. gelijk aan het atmosferisch kookpunt van de stof) en dat de energie die onttrokken wordt vanuit de ondergrond (land) volledig benut wordt voor het verdampen van de cryogene vloeistof.

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}_{\text{geleiding}}}{\Delta h_v(T_{\text{plas}})} = \frac{\dot{q}_{\text{geleiding}} \cdot \pi \cdot r^2}{\Delta h_v(T_{\text{plas}})} \quad (2.3.21)$$

Aangezien de ondergrond snel zal afkoelen als gevolg van het heftig koken van de vloeistof, zal ook de warmteoverdracht naar de plas en het verdampingsdebiet vanuit de kokende plas snel afnemen. Op een bepaald ogenblik kan de plas niet meer genoeg warmte onttrekken uit de omgeving en zal de plas geleidelijk afkoelen (i.e. regime van een kokende vloeistof kan niet meer worden aangehouden). Het verdampingsdebiet wordt vanaf dat ogenblik bepaald met het verdampingsmodel dat voor niet-kokende vloeistofplassen wordt aangewend (zie § 2.3.2.3).

Op water kunnen er zich – in tegenstelling tot op land – “ondergrondse” stromingen voordoen, die maken dat er voor de warmteflux vanuit de “ondergrond” doorgaans gebruik gemaakt wordt van een empirisch bepaalde warmteoverdrachtscoëfficiënt h_w (W/m².K). Het verdampingsdebiet van een kokende vloeistof op water wordt dan gegeven door:

$$\dot{m}_v = \frac{h_w \cdot (T_{\text{plas}} - T_{\text{water}}) \cdot \pi \cdot r^2}{\Delta h_v(T_{\text{plas}})} \quad (2.3.22)$$

Van den Bosch (2005) en Webber et al. (2009) geven alle $h_w = 500$ W/m².K als een waarde die vrij aanvaardbaar lijkt gelet op het beperkte aantal experimentele data. Bij een voldoende groot watervolume en -diepte is de warmte die uit het water onttrokken kan worden zodanig groot dat het regime van een kokende vloeistof langdurig kan worden aangehouden.

DISPERSIE – Aangezien de dampen van de bestudeerde tot vloeistof gekoelde gassen bij hun kooktemperatuur alle beduidend zwaarder zijn dan lucht, wordt de dispersie van de vrijgezette dampen in de omgeving berekend met het zwaargasmodel SLAB (Ermak, 1990).

⁶¹ Indien het evenwel gaat om een kokende vloeistofplas op water, kunnen de convectiestromingen die optreden in het water ervoor zorgen dat de temperatuur van het water dat in contact is met de vloeistofplas constant blijft, dit in tegenstelling tot een vrijzetting op land.

WOLKBRAND – De omvang en vorm van de brandbare wolk (afgebakend door de LEL-contour) wordt in functie van de tijd berekend met het hogervermelde dispersiemodel. De wolk met de grootste geprojecteerde oppervlakte op grondniveau (uitgedrukt in m²) wordt weerhouden als resultaat van de berekening.

GASWOLKEXPLOSIË – De massa in de brandbare wolk (afgebakend door de LEL- en UEL-contour) wordt in functie van de tijd berekend met behulp van het hogervermelde dispersiemodel. De wolk met de grootste explosieve massa (uitgedrukt in kg) wordt weerhouden als resultaat van de berekening. Het aangrijpingspunt van de explosie wordt gelijkgesteld aan het volumetrisch centrum van de overeenkomstige brandbare wolk.

De explosieoverdruk in functie van de afstand tot het explosiecentrum wordt berekend met curve 7 van het multi-energiemodel (explosie op grondniveau), waarbij wordt aangenomen dat 12% van de in de wolk aanwezige brandbare massa ingeklemd is en derhalve bijdraagt tot de explosie.

2.3.4.4 Ontvlambaarheidsindices voor tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

De nood aan een ontvlambaarheidsindex voor tot vloeistof gekoelde gassen is beperkt gelet op het geringe aantal ontvlambare gassen dat gekoeld als vloeistof in bulk wordt opgeslagen. In volgende paragrafen zullen de risico- en effectafstanden worden berekend voor een aantal geselecteerde tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen (zie § 2.3.4.1) en voor twee risicobepalende installatietypes (zie § 2.3.4.2). Op basis van de uitgevoerde berekeningen zullen vervolgens conclusies worden getrokken met betrekking tot de keuze van een representatieve stof voor deze gassen in een veiligheidsrapport.

Als hulpmiddel bij de analyse van de resultaten wordt in onderstaande tabel reeds een overzicht gegeven van de verwachte invloed van een aantal stoffeigenschappen op de effecten van mogelijke ongevallen met tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen.

stoffeigenschap	invloed op effectmodellering	effectafstanden		
		plasbrand	wolkbrand	gaswolkexplosie
atm. kookpunt	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger het atmosferisch kookpunt van het gas, hoe kleiner het temperatuurverschil tussen de plas en de omgeving, hoe kleiner de warmtetoevoer naar de plas en hoe lager de verdampingsdebieten (in het regime van een kokende plas) 	+ ⁽¹⁾	-	-
verdampingswarmte	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de verdampingswarmte, hoe lager het verdampingsdebiet bij eenzelfde warmtetoevoer naar de plas 	+ ⁽¹⁾	-	-
onderste explosiegrens	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de LEL, hoe kleiner de brandbare wolken die worden gevormd in de omgeving 		-	-

stofeigenschap	invloed op effectmodellering	effectafstanden		
		plasbrand	wolkbrand	gaswolkexplosie
bovenste explosiegrens	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de UEL, hoe groter de massa in de brandbare wolk 			+ (2)
dampdichtheid	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de dampdichtheid, hoe groter de explosieve massa in een brandbare wolk 			+
verbrandings-warmte	<ul style="list-style-type: none"> Hoe hoger de verbrandings-warmte, hoe groter de energie-inhoud van een brandbare wolk 			+

(1) Bij eenzelfde volumetrisch vrijzettingsdebiet resulteert een lager verdampingsdebiet in de vorming van grotere plassen die bij ontsteking aanleiding geven tot grotere plasbranden.

(2) Voor zover de concentraties in de brandbare wolk oplopen tot boven de bovenste explosiegrens. Bij kokende vloeistofplassen zijn de verdampingsgebieden dermate hoog dat dergelijke situatie zich kan voordoen bij stabiele weerscondities.

Tabel 2.3.4.4.1 Invloed van verschillende stofeigenschappen op de effecten van mogelijke ongevallen bij een vrijzetting van een tot vloeistof gekoeld ontvlambaar gas

2.3.4.5 Resultaten van de effect- en risicoberekeningen

Om de vergelijking tussen de verschillende stoffen enigszins te vergemakkelijken worden in onderstaande tabellen de maximumwaardes per kolom in het rood gedrukt. De effectafstanden van wolkbranden en gaswolkexplosies worden gerapporteerd voor weertype D50 (neutrale atmosfeer) en F20 (zeer stabiele atmosfeer). Verder wordt de bestudeerde gassen in de tabel gegroepeerd volgens het aantal C-atomen in het structuurformule (C₁-, C₂-, C₃- en C₄-gassen).

2.3.4.5.1 Atmosferische opslagtanks

Tabellen 2.3.4.5.1 t.e.m. 2.3.4.5.6 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁸/j, 10⁻⁹/j en 10⁻¹⁰/j voor de twee volledig omsloten atmosferische opslagtanks die in beschouwing worden genomen in deze casestudie, enkele parameters die een maat zijn voor de omvang van het groepsrisico⁶² en de berekende maximale effectafstanden voor de scenario's die bepalend zijn voor de ligging van de 10⁻⁹/j en 10⁻¹⁰/j isorisicocontouren (zie verder)⁶³.

⁶² Berekend voor een omgeving met een uniforme populatiedichtheid van 10 pers/ha (week/overdag) en 2 pers/ha ('s nachts en in het weekend) en een binnen/buiten-verhouding van 93/7 (overdag) en 99/1 ('s nachts).

⁶³ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10⁻⁹/j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een plasbrand en op het niveau van 10⁻¹⁰/j door het scenario van een wolkbrand na het instantaan falen van de opslagtank.

product	10 ⁻⁸ /j	10 ⁻⁹ /j	10 ⁻¹⁰ /j	verwachtings-waarde	max. doden	max(Fd ²)
methaan	0	357	654	2,73E-07	2055	3,34E-05
ethyleen	0	578	1331	1,70E-06	4539	2,79E-04
ethaan	0	569	1173	1,57E-06	3974	2,60E-04
propyleen	0	569	1136	1,59E-06	4537	2,66E-04
propaan	0	565	1125	1,58E-06	4505	2,61E-04
isobutaan	0	553	1001	1,49E-06	4281	2,33E-04
isobuteen	0	552	982	1,46E-06	3962	2,31E-04
1-buteen	0	554	1056	1,49E-06	4117	2,32E-04
n-butaan	0	550	1041	1,47E-06	3969	2,23E-04

Tabel 2.3.4.5.1 Risicoafstanden voor een cryogene opslagtank van 50.000 m³ (type FC2)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	592 (580-600)	1280 (30 ha)	1430 (152 ha)	1565 (140 ton)	2610 (789 ton)
ethyleen	636 (625-645)	1000 (38 ha)	2090 (455 ha)	1635 (238 ton)	3320 (2347 ton)
ethaan	637 (625-645)	795 (28 ha)	1955 (399 ha)	1420 (173 ton)	3040 (1810 ton)
propyleen	638 (630-645)	695 (25 ha)	2000 (448 ha)	1280 (140 ton)	3070 (1569 ton)
propaan	637 (630-645)	680 (24 ha)	1980 (445 ha)	1270 (137 ton)	2970 (1492 ton)
isobutaan	628 (625-635)	605 (21 ha)	1865 (407 ha)	1190 (121 ton)	2775 (1216 ton)
isobuteen	626 (620-630)	585 (20 ha)	1820 (382 ha)	1135 (104 ton)	2670 (1111 ton)
1-buteen	626 (620-630)	640 (22 ha)	1880 (407 ha)	1200 (111 ton)	2725 (1168 ton)
n-butaan	621 (615-625)	635 (22 ha)	1835 (396 ha)	1200 (114 ton)	2695 (1138 ton)

Tabel 2.3.4.5.2 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een opslagtank van 50.000 m³ (type FC2)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	697 (685-710)	680 (17 ha)	2185 (163 ha)	1070 (79 ton)	2925 (809 ton)
ethyleen	692 (675-710)	755 (25 ha)	2070 (397 ha)	1245 (120 ton)	3090 (1723 ton)
ethaan	693 (680-710)	580 (17 ha)	1920 (328 ha)	1070 (81 ton)	2840 (1105 ton)
propyleen	698 (690-710)	515 (16 ha)	1895 (386 ha)	970 (62 ton)	2770 (1202 ton)
propaan	693 (685-705)	500 (15 ha)	1890 (382 ha)	965 (60 ton)	2770 (1165 ton)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
isobutaan	680 (680-680)	415 (11 ha)	1655 (340 ha)	830 (41 ton)	2530 (922 ton)
isobuteen	681 (680-685)	375 (9 ha)	1620 (317 ha)	760 (30 ton)	2425 (847 ton)
1-buteen	681 (680-685)	425 (11 ha)	1775 (349 ha)	805 (37 ton)	2555 (906 ton)
n-butaan	680 (680-680)	410 (10 ha)	1720 (340 ha)	795 (35 ton)	2490 (878 ton)

Tabel 2.3.4.5.3 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een uitstroming in 10 minuten van een opslagtank van 50.000 m³ (type FC2)

product	10 ⁻⁸ /j	10 ⁻⁹ /j	10 ⁻¹⁰ /j	verwachtings -waarde	max. doden	max(Fd ²)
methaan	0	260	471	1,43E-07	1121	9,86E-06
ethyleen	0	428	947	8,93E-07	2273	8,05E-05
ethaan	0	425	836	8,36E-07	2022	7,80E-05
propyleen	0	432	764	8,70E-07	2417	8,66E-05
propaan	0	430	756	8,58E-07	2481	8,45E-05
isobutaan	0	424	652	8,12E-07	1957	8,01E-05
isobuteen	0	425	630	8,01E-07	1803	8,02E-05
1-buteen	0	425	681	8,20E-07	2018	8,03E-05
n-butaan	0	422	662	8,03E-07	1961	7,74E-05

Tabel 2.3.4.5.4 Risicoafstanden voor een cryogene opslagtank van 20.000 m³ (type FC2)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	451 (445-455)	935 (17 ha)	990 (81 ha)	1230 (79 ton)	2030 (470 ton)
ethyleen	485 (475-490)	730 (20 ha)	1460 (230 ha)	1255 (115 ton)	2525 (1024 ton)
ethaan	490 (480-495)	575 (14 ha)	1380 (204 ha)	1085 (81 ton)	2265 (778 ton)
propyleen	498 (495-505)	475 (12 ha)	1460 (234 ha)	920 (54 ton)	2265 (647 ton)
propaan	496 (490-500)	460 (11 ha)	1430 (230 ha)	915 (53 ton)	2215 (625 ton)
isobutaan	493 (490-495)	390 (9 ha)	1195 (182 ha)	815 (39 ton)	1910 (437 ton)
isobuteen	494 (490-495)	375 (8 ha)	1160 (168 ha)	745 (32 ton)	1835 (396 ton)
1-buteen	493 (490-495)	410 (9 ha)	1255 (190 ha)	790 (36 ton)	1945 (426 ton)
n-butaan	491 (490-495)	400 (9 ha)	1230 (184 ha)	785 (35 ton)	1935 (416 ton)

Tabel 2.3.4.5.5 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een opslagtank van 20.000 m³ (type FC2)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	507 (505-510)	450 (7 ha)	1645 (83 ha)	780 (32 ton)	2105 (377 ton)
ethyleen	520 (515-525)	485 (10 ha)	1450 (178 ha)	880 (43 ton)	2235 (611 ton)
ethaan	525 (520-530)	365 (7 ha)	1210 (138 ha)	735 (27 ton)	1930 (399 ton)
propyleen	536 (530-540)	310 (6 ha)	1190 (161 ha)	615 (18 ton)	1875 (412 ton)
propaan	535 (530-540)	300 (6 ha)	1165 (159 ha)	610 (16 ton)	1845 (396 ton)
isobutaan	530 (525-535)	225 (3 ha)	1005 (132 ha)	485 (8 ton)	1635 (295 ton)
isobuteen	535 (530-540)	195 (2 ha)	980 (123 ha)	410 (4 ton)	1625 (271 ton)
1-buteen	533 (530-535)	225 (3 ha)	1065 (138 ha)	465 (7 ton)	1675 (294 ton)
n-butaan	535 (530-540)	210 (3 ha)	1030 (132 ha)	445 (6 ton)	1655 (282 ton)

Tabel 2.3.4.5.6 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een uitstroming in 10 minuten van een opslagtank van 20.000 m³ (type FC2)

BESPREKING VAN DE RESULTATEN – Bij een omvangrijke instantane vrijzetting van een tot vloeistof gekoeld gas op land wordt het verdampingsdebiet hoofdzakelijk bepaald door de warmte die onttrokken wordt uit de ondergrond. De onttrokken warmte is functie van het temperatuurverschil tussen de kokende of verdampende plas en de ondergrond en is (bij grote temperatuurverschillen) sterk transiënt doordat de ondergrond in contact met de kokende of verdampende plas sterk zal afkoelen. De hoogste verdampingsdebieten (en de kleinste plassen) worden bekomen voor de tot vloeistof gekoelde gassen met het laagste atmosferische kookpunt.

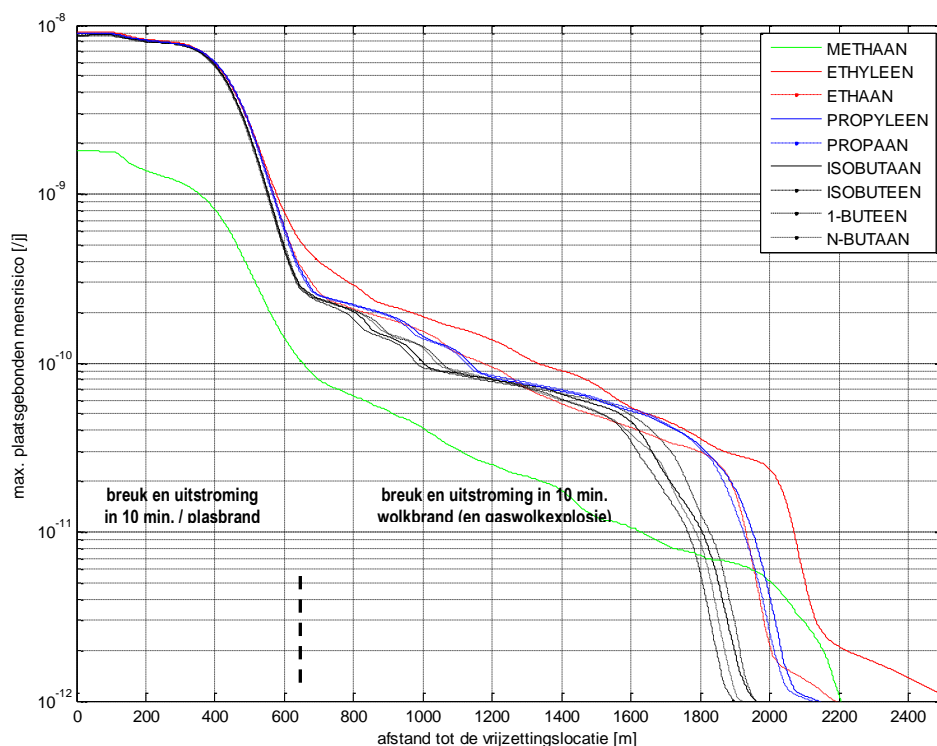
Dit wordt in onderstaande tabel geïllustreerd voor het scenario van een breuk van een volledig omsloten opslagtank van 50.000 m³ (type FC2). De tabel toont de totaal vrijgezette hoeveelheid, de hoeveelheid die verdampt in een tijdspanne van 30 minuten, de representatieve verdampingsdebieten (voor verschillende windsnelheden), de representatieve plasdiameters (voor verschillende windsnelheden) en de verhouding van de representatieve verdampingsdebieten tot de onderste explosiegrens van de bestudeerde gassen.

product	Vrij-gezette hoeveelheid [ton]	Massa die verdampt binnen 30 min. [ton]	Representatief verdampingsdebiet [kg/s]	Plas-diameter [m]	LEL [vol%]	Verdampingsdebiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]
methaan	2112,6	2114,6 - 2119,3	3365,4 - 3554,1	254,5 - 256,9	5,00	983,1 - 1038,2
ethyleen	2844,7	2635,7 - 2822,0	2300,1 - 2536,5	287,3 - 289,5	2,70	708,3 - 781,1
ethaan	2722,2	2393,2 - 2667,1	1975,7 - 2249,3	291,1 - 293,7	3,00	509,8 - 580,3
propyleen	3058,1	1984,8 - 2464,9	1414,4 - 1888,5	297,4 - 302,2	2,15	361,3 - 482,4
propaan	2912,8	1934,2 - 2415,7	1375,5 - 1875,2	296,5 - 302,3	2,10	342,6 - 467

product	Vrij-gezette hoeveelheid [ton]	Massa die verdampt binnen 30 min. [ton]	Representatief verdampings-debiet [kg/s]	Plas-diameter [m]	LEL [vol%]	Verdampings-debiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]
isobutaan	2972,9	1637,2 - 2164,0	1142,0 - 1814,5	292,6 - 304,2	1,80	249,2 - 395,9
isobuteen	3133,8	1488,8 - 2003,8	1037,8 - 1693,9	292,5 - 304,5	1,80	234,7 - 383,1
1-buteen	3127,6	1458,3 - 1964,8	1017,4 - 1657,8	292,8 - 304,6	1,60	258,8 - 421,8
n-butaan	3012,3	1406,2 - 1919,3	1002,8 - 1690,5	290,4 - 303,3	1,60	245,5 - 413,9

Tabel 2.3.4.5.7 Verspreiding en verdamping van de vloeistofplas na een catastrofale breuk van een 50.000 m³ opslagtank

Figuur 2.3.4.5.1 toont het maximale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een volledig omsloten opslagtank van 50.000 m³ (type FC2) in functie van de afstand tot de vrijzettingslocatie en geeft aan welke ongevalscenario's bepalend zijn op een zekere afstand van de bron.



Figuur 2.3.4.5.1 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een volledig omsloten opslagtank van 50.000 m³ (type FC2), in functie van de afstand tot de vrijzettingslocatie

Op het niveau van 10^{-9} /j verschilt het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van een volledig omsloten opslagtank (type FC2) weinig voor de bestudeerde gassen, met uitzondering van methaan⁶⁴. Volgende verklaringen kunnen hiervoor worden gegeven:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10^{-9} /j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een plasbrand na het instantaan falen van de opslagtank.
- ❑ De effecten van een plasbrand, die enerzijds bepaald worden door de omvang van de vlam (vlamdiameter en -hoogte) en anderzijds door de stralingswarmteflux van de vlam, verschillen slechts weinig voor de bestudeerde gassen.
- ❑ Bij het instantaan falen van een opslagtank zonder inkuiping worden de grootste plassen bekomen voor de vloeibare gassen met het kleinste verdampend vermogen, i.e. vloeibare gassen met het hoogste atmosferische kookpunt (C_4 -gassen). Echter, met uitzondering van methaan, verschillen de representatieve plasoppervlaktes weinig van elkaar omdat de omvang van de plas hoofdzakelijk wordt bepaald door het vrijgezette volume en slechts in beperkte mate door het verdampend vermogen van het vrijgezette tot vloeistof gekoelde gas (zie vijfde kolom van tabel 2.3.4.5.7).
- ❑ De L/D-verhouding van de vlam is verder functie van het specifieke verbrandingsdebiet en is, in tegenstelling tot de plas- of vlamdiameter, het grootst voor de vloeibare gassen met het laagste atmosferische kookpunt. De kleinere plas- of vlamdiameter voor vloeibare gassen met een laag atmosferisch kookpunt wordt dus (deels) gecompenseerd door een grotere vlamlengte.
- ❑ Voor vloeibare gassen met minder dan 5 koolstofatomen wordt conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* uitgegaan van een volledig heldere vlam met een constante stralingswarmteflux van 265 kW/m^2 .

Op het niveau van 10^{-10} /j is het plaatsgebonden risico het grootst voor ethyleen (alle bestudeerde gassen), propyleen (enkel C_3/C_4 -gassen) en 1-buteen (enkel C_4 -gassen). De redenen hiervoor zijn de volgende:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10^{-10} /j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een wolkbrand en in mindere mate een gaswolkexplosie na het instantaan falen van de opslagtank.
- ❑ De effecten van een wolkbrand (omvang van de geprojecteerde brandbare wolk op grondniveau) worden bepaald door het verdampend vermogen van de gevormde plas, door de onderste explosiegrens van het ontvlambare gas en bij stabiele weersomstandigheden door de dichtheid van het vrijgezette gas (zwaargasgedrag).
- ❑ Het verdampend vermogen van de plas (i.e. het representatieve verdampingsdebiet) is voor het scenario van een breuk van de opslagtank het grootst voor methaan, gevolgd door ethyleen en ethaan (zie vierde kolom van tabel 2.3.4.5.7).

⁶⁴ Voor methaan, een laag reactief gas, worden lagere ontstekingskansen toegepast dan voor de andere ontvlambare gassen. Als gevolg hiervan zijn de risico's die uitgaan van methaan veel kleiner dan voor de andere ontvlambare gassen.

- Het schadegebied van een wolkbrand wordt conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* afgebakend door de onderste explosiegrens van het gas. Deze onderste explosiegrens neemt over het algemeen af met een toenemend atmosferische kookpunt (zie zesde kolom van tabel 2.3.4.5.7).
- De verhouding van het representatieve verdampingsdebiet (in m³/s) tot de onderste explosiegrens (m³/m³) kan over het algemeen⁽⁶⁵⁾ worden aanzien als een maatgevende parameter voor de omvang van de brandbare wolk. Deze verhouding (zie laatste kolom van tabel 2.3.4.5.7) is voor het scenario van een breuk van de opslagtank het grootst voor methaan (alle bestudeerde gassen), propyleen (C₃/C₄-gassen) en 1-buteen (C₄-gassen).
- Bij stabiele weersomstandigheden (weertypes E30 en F20) heeft ook de dampdichtheid een relevante impact op de omvang van de effecten van een wolkbrand omdat gassen met een hoge dichtheid bij beperkte atmosferische turbulentie de neiging hebben uit te zakken onder invloed van de zwaartekracht waardoor de omvang van de brandbare wolk op grondniveau toeneemt (zwaargasgedrag). Als gevolg van de hogere dampdichtheid van C₄-gassen t.o.v. C₂- en C₃-gassen zijn de verschillen qua omvang van de brandbare wolk kleiner bij weertype F20 dan bij weertype F50.
- De effecten van een gaswolkexplosie zijn gerelateerd aan de maximale explosieve massa in de brandbare wolk. Naast het verdampend vermogen van de gevormde plas en de onderste explosiegrens van het ontvlambare gas worden de effecten van een gaswolkexplosie bijkomend bepaald door de dampdichtheid en in mindere mate door de bovenste explosiegrens⁽⁶⁶⁾ van het ontvlambare gas.

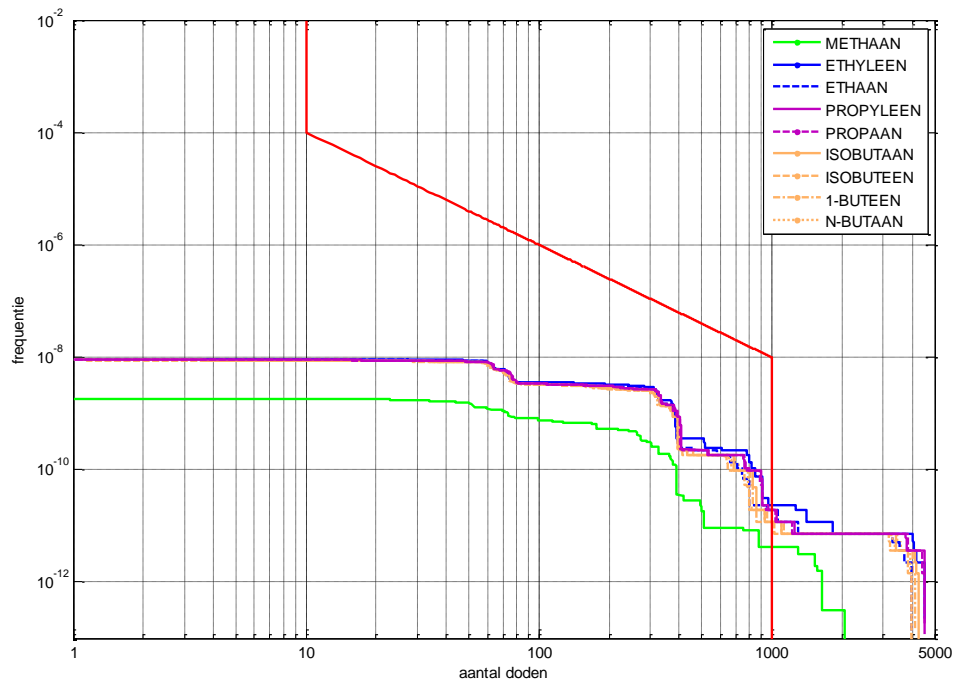
Figuren 2.3.4.5.2 en 2.3.4.5.3 tonen het berekende groepsrisico van een volledig omsloten opslagtank (type FC2) met een volume van respectievelijk 50.000 en 20.000 m³ in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid (max. 10 pers/ha, hoofdzakelijk binnen). De berekende FN-curven voor de bestudeerde gassen verschillen weinig van elkaar, met uitzondering van methaan⁽⁴⁹⁾. Het maximaal aantal slachtoffers wordt bekomen voor ethyleen (opslagtank van 50.000 m³) voor het scenario van een wolkbrand na een breuk van de opslagtank en propaan (opslagtank van 20.000 m³) voor het scenario van een gaswolkexplosie na een breuk van de opslagtank en dit bij weertype F20 overdag.

Hoewel de explosieve massa in de brandbare wolk voor het scenario gaswolkexplosie na een breuk van de opslagtank (weertype F20), duidelijk groter is voor de C₂-gassen dan voor de C₃-gassen, is het maximaal aantal doden dat wordt berekend voor de C₂-gassen relatief laag in vergelijking met dat voor de C₃-gassen. Volgende verklaring wordt hiervoor gevonden:

⁶⁵ In geval van een relatief korte vrijzetting aan een hoog debiet, is het mogelijk dat de brandbare wolk bij stabiele weerscondities (E30 en F20) niet de steady-state toestand kan bereiken, waardoor de omvang van de brandbare wolk kleiner uitvalt dan verwacht op basis van de verhouding van het verdampingsdebiet tot de onderste explosiegrens. Bij een breuk van een 50.000 m³ tank doet deze situatie zich voor bij alle tot vloeistof gekoelde gassen in combinatie met weertype F20 (weliswaar het meest uitgesproken voor de gassen met het laagste atmosferische kookpunt). Bij een breuk van een 20.000 m³ doet dergelijke situatie zich enkel voor bij een vrijzetting van C₁-, C₂- en C₃-gassen in combinatie met weertype F20.

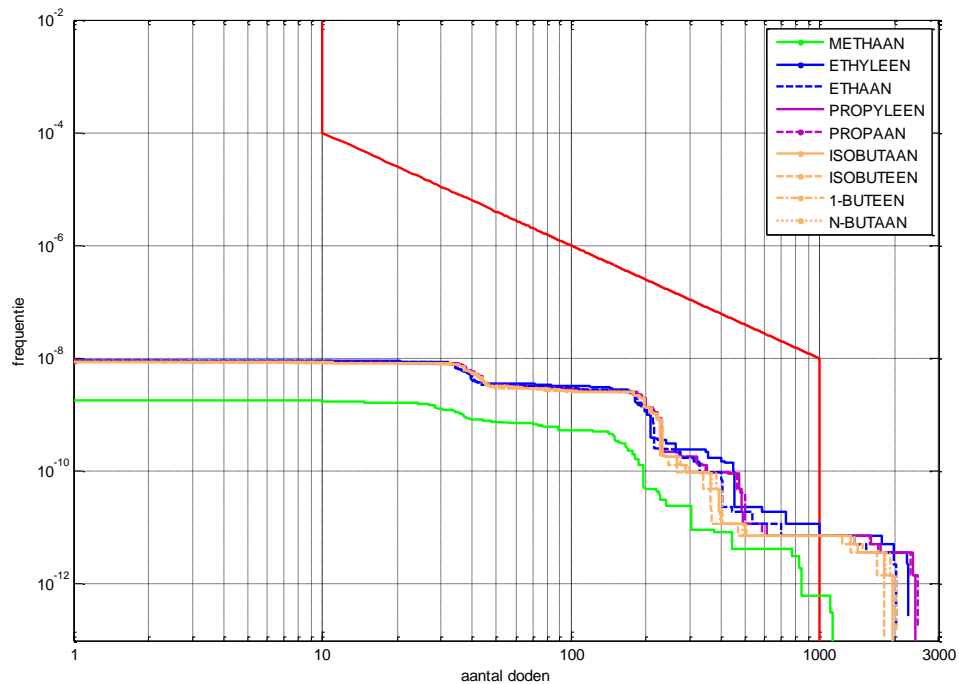
⁶⁶ De bovenste explosiegrens heeft slechts een impact op de effecten van het scenario gaswolkexplosie, voor zover de concentraties in de brandbare wolk hoger zijn dan de bovenste explosiegrens. Deze situatie doet zich hoofdzakelijk voor bij vrijzettingen met een hoog vrijzettingsdebiet per oppervlakte-eenheid (bv. instantane vrijzettingen van C₁- en C₂-gassen).

- ❑ De meeste slachtoffers bij een gaswolkexplosie vallen binnen de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk, waar een letaliteit van 100% geldt.
- ❑ Voor het scenario van een gaswolkexplosie wordt het tijdstip van ontsteking gelijkgesteld aan het tijdstip waarop de explosieve massa in de wolk maximaal is, terwijl dit voor het scenario van een wolkbrand gelijk wordt gesteld aan het tijdstip waarop de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk zelf maximaal is.
- ❑ De tijdstippen waarop enerzijds de explosieve massa en anderzijds de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk maximaal zijn vallen niet altijd samen. Als gevolg daarvan kan de geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk bij het scenario gaswolkexplosie beduidend kleiner zijn dan de geprojecteerde oppervlakte van de wolk bij het scenario wolkbrand⁽⁶⁷⁾.



Figuur 2.3.4.5.2 groepsrisico voor een cryogene opslagtank van 50.000 m³ (type FC2) in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is

⁶⁷ Dit fenomeen doet zich voor bij een relatief korte vrijzettingsduur in combinatie met stabiele weerscondities (E30 en F20) en is het meest uitgesproken bij hoge vrijzettingsdebieten (C₂-gassen). Onder deze omstandigheden wordt de steady-state toestand van de brandbare wolk niet bereikt op het einde van de vrijzettingsduur en wordt de grootste geprojecteerde oppervlakte van de brandbare wolk teruggevonden in de puff-mode (na het beëindigen van de verdamping). De grootste explosieve massa in de wolk wordt daarentegen wel bekomen op het einde van de vrijzettingsduur.



Figuur 2.3.4.5.3 groepsrisico voor een cryogene opslagtank van 20.000 m³ (type FC2) in een omgeving met een uniforme populatie die hoofdzakelijk binnen aanwezig is

CONCLUSIES – Op basis van de uitgevoerde risico- en effectberekeningen voor een volledig omsloten opslagtank (type FC2) met tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen wordt vastgesteld dat het plaatsgebonden mensrisico het grootst is voor ethyleen (alle bestudeerde gassen), propyleen (enkel C₃/C₄-gassen) en 1-buteen (enkel C₄-gassen).

Met betrekking tot het groepsrisico verschillen de berekende FN-curve voor de bestudeerde tot vloeistof gekoelde gassen weinig van elkaar. Het berekende maximaal aantal doden dat te verwachten is voor het worst-case ongevalscenario blijkt hoger te zijn voor C₃-gassen in vergelijking met C₂-gassen. Dit valt te verklaren door het sterk transiënte karakter van de verdamping bij een breuk van een opslagtank, de wijze waarop het verdampingsdebiet wordt gemiddeld en het feit dat de steady-state toestand van de brandbare wolk zich relatief traag instelt bij stabiele weerscondities.

2.3.4.5.2 Scheepsverlading

Tabellen 2.3.4.5.8 te.m. 2.3.4.5.10 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j voor een scheepslossing van een tot vloeistof gekoeld ontvlambaar gas via een 10'' losarm (1.200 m³/h) gedurende 3.000 uren per jaar, enkele parameters die een maat zijn voor de omvang van het groepsrisico⁽⁶²⁾ en de berekende maximale effectafstanden voor de scenario's die bepalend zijn voor de ligging van de 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j en 10⁻⁷/j isorisicocontouren (zie verder).

Product	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	Verwachtings- waarde	max. doden	max(Fd ²)
methaan	71	189	277	473	1,48E-04	213	8,46E-04
ethyleen	148	304	508	721	1,06E-03	572	8,30E-03
ethaan	146	277	444	673	9,70E-04	487	8,31E-03
propyleen	155	301	431	702	1,11E-03	775	1,13E-02
propaan	153	287	416	681	1,08E-03	738	1,10E-02
isobutaan	149	228	375	650	1,02E-03	801	1,00E-02
isobuteen	153	234	352	628	1,05E-03	915	1,12E-02
1-buteen	155	252	384	653	1,08E-03	1059	1,15E-02
n-butaan	154	227	329	595	1,05E-03	1001	1,13E-02

Tabel 2.3.4.5.8 Risicoafstanden voor een 10" losarm voor schepen (3.000 h/j)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	143 (140-145)	255 (1,4 ha)	650 (14,6 ha)	440 (5,3 ton)	885 (38,6 ton)
ethyleen	174 (170-175)	310 (3,2 ha)	745 (49,3 ha)	625 (15,7 ton)	1245 (120,6 ton)
ethaan	181 (175-185)	265 (2,6 ha)	640 (41 ha)	545 (9,7 ton)	1155 (102,8 ton)
propyleen	218 (210-220)	270 (3,4 ha)	770 (69,5 ha)	585 (14 ton)	1335 (151,5 ton)
propaan	216 (210-220)	260 (3,2 ha)	740 (66,1 ha)	560 (12,1 ton)	1270 (140,3 ton)
isobutaan	268 (255-275)	235 (3 ha)	740 (73,1 ha)	535 (11,7 ton)	1265 (146,3 ton)
isobuteen	297 (280-305)	245 (3,1 ha)	805 (83,5 ha)	520 (11,4 ton)	1345 (171,9 ton)
1-buteen	300 (285-310)	270 (3,6 ha)	895 (97,9 ha)	550 (12,9 ton)	1440 (195,6 ton)
n-butaan	315 (295-330)	250 (3,1 ha)	855 (92 ha)	515 (10,5 ton)	1410 (181,7 ton)

Tabel 2.3.4.5.9 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een 10" vaste losarm voor schepen (noodstop faalt)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
methaan	148 (140-155)	275 (1,6 ha)	240 (7,3 ha)	485 (6,7 ton)	670 (25,2 ton)
ethyleen	163 (150-170)	300 (3,0 ha)	355 (13,0 ha)	595 (14,3 ton)	785 (46,8 ton)
ethaan	166 (155-175)	245 (2,2 ha)	350 (12,6 ha)	495 (7,8 ton)	790 (43,8 ton)
propyleen	177 (165-185)	210 (2,0 ha)	420 (17,5 ha)	470 (7,3 ton)	805 (45,8 ton)
propaan	177 (165-185)	200 (1,8 ha)	415 (16,6 ha)	445 (6,3 ton)	770 (42,8 ton)

product	Plasbrand gemiddeld (min-max)	Wolkbrand		Gaswolkexplosie	
		D50	F20	D50	F20
isobutaan	178 (165-190)	130 (0,9 ha)	370 (17,6 ha)	305 (2,4 ton)	725 (28,8 ton)
isobuteen	182 (165-195)	120 (0,7 ha)	345 (16,5 ha)	270 (1,7 ton)	675 (24,6 ton)
1-buteen	183 (165-195)	130 (0,8 ha)	385 (18,6 ha)	290 (1,9 ton)	700 (27,2 ton)
n-butaan	183 (165-195)	110 (0,6 ha)	325 (14,2 ha)	245 (1,3 ton)	630 (19,3 ton)

Tabel 2.3.4.5.10 Effectafstanden voor plasbranden, wolkbranden en gaswolkexplosies na een breuk van een 10" vaste losarm voor schepen (noodstop werkt)

BESPREKING VAN DE RESULTATEN – Bij een breuk van een losarm tijdens een scheepsverlading van een tot vloeistof gekoeld gas wordt aangenomen dat de vrijgezette stof volledig in het water terechtkomt en dat het representatieve vrijzettingsdebiet gelijk is aan 1,5 keer het nominale pompdebiet (i.e. $1,5 \times 1.200 \text{ m}^3/\text{h} = 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$).

Het specifiek verdampingsdebiet van een kokende plas op water is vrij hoog, blijft – in tegenstelling tot een vrijzetting op land – constant⁽⁶⁸⁾ en wordt bepaald door de verdampingswarmte en het atmosferisch kookpunt van het tot vloeistof gekoelde gas (zie formule 2.3.22). Gelet op het constante specifieke verdampingsdebiet op water wordt bij een langdurige vrijzetting (noodstop faalt) na een zekere tijd een evenwicht bereikt tussen het vrijzettings- en het verdampingsdebiet, waardoor de kokende plas in een steady-state toestand terechtkomt en de plas niet verder zal uitbreiden. Onder dergelijke omstandigheden (langdurige vrijzetting op water) zal het representatieve verdampingsdebiet min of meer gelijk zijn aan het vrijzettingsdebiet.

In geval van een kortstondige vrijzetting op water (noodstop werkt) wordt deze steady-state toestand niet altijd bereikt. De snelheid waarmee de steady-state toestand wordt bereikt is functie van het vrijzettingsdebiet en van het specifieke verdampingsdebiet van de stof op water. Aangezien het vrijzettingsdebiet voor het scenario van een breuk van de arm, met uitzondering van methaan, weinig verschilt en het specifieke verdampingsdebiet op water sterk afneemt met een toenemend atmosferisch kookpunt van de stof, zal de tijd tot het bereiken van de steady-state toenemen met een toenemend atmosferisch kookpunt van de stof⁽⁶⁹⁾. Onder dergelijke omstandigheden (kortstondige vrijzetting op water waarbij de steady-state niet wordt bereikt) is de snelheid waarmee de steady-state wordt bereikt bepalend voor het representatieve verdampingsdebiet. Het representatieve verdampingsdebiet is in dat geval het grootst voor stoffen met een laag atmosferisch kookpunt.

Dit wordt geïllustreerd in onderstaande tabel. De tabel toont het specifieke verdampingsdebiet van de tot vloeistof gekoelde gassen op water, de representatieve verdampingsdebieten en plasdiameters voor het scenario van een breuk van de losarm met een falend en werkend

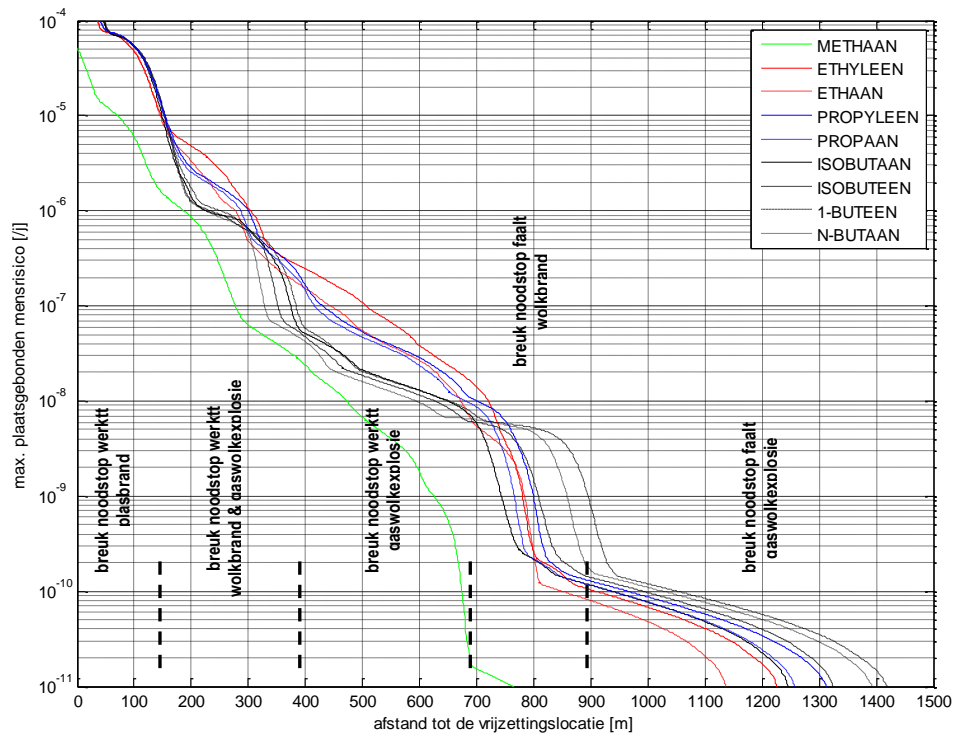
⁶⁸ Door de aanwezigheid van convectieve stromingen in het water, wordt aangenomen dat de temperatuur van het water dat in contact is met de kokende plas constant blijft en dat bijgevolg ook de warmteoverdracht van de ondergrond naar de plas constant blijft.
⁶⁹ Voor het gegeven vrijzettingsdebiet wordt de steady-state toestand na 3 à 4 minuten (methaan), na 6 à 7 minuten (C₂-gassen), na 10 à 15 minuten (C₃-gassen) en na 15 à 20 minuten (C₄-gassen) bereikt.

noodstopstelsel en de verhouding van de representatieve verdampingsdebieten tot de onderste explosiegrens van de bestudeerde gassen.

product	Vrij-zettings-debiet [kg/s]	specifiek ver-dampings-debiet [g/m ² s]	verdampingsdebiet [kg/s] en plasdiameter [m]		LEL [vol%]	Verdampingsdebiet/LEL [(m ³ /s)/(m ³ /m ³)]	
			noodstop faalt	noodstop werkt		noodstop faalt	noodstop werkt
methaan	211,3	171,3	211,8 (Ø = 39 m)	252,5 (Ø = 43 m)	5,00	61,9	73,7
ethyleen	284,5	121,4	285,4 (Ø = 54 m)	266,1 (Ø = 52 m)	2,70	87,9	81,9
ethaan	272,2	104,1	273,3 (Ø = 57 m)	234,3 (Ø = 53 m)	3,00	70,5	60,5
propyleen	305,8	68,2	312,1 (Ø = 74 m)	198 (Ø = 59 m)	2,15	79,7	50,6
propaan	291,3	64,7	296,1 (Ø = 74 m)	187 (Ø = 59 m)	2,10	73,7	46,6
isobutaan	297,3	33,8	304,0 (Ø = 100 m)	114,4 (Ø = 62 m)	1,80	66,3	25,0
isobuteen	313,4	25,3	319,4 (Ø = 115 m)	99,0 (Ø = 64 m)	1,80	72,2	22,4
1-buteen	312,8	24,5	322,0 (Ø = 118 m)	98,2 (Ø = 65 m)	1,60	81,9	25,0
n-butaan	301,2	17,5	306,9 (Ø = 125 m)	83,6 (Ø = 66 m)	1,60	75,2	20,5

Tabel 2.3.4.5.11 Verspreiding en verdamping van een tot vloeistof gekoeld gas op water na een breuk van een losarm voor schepen (1.200 m³/h)

Figuur 2.3.4.5.4 toont het maximale plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van de bestudeerde losarm in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie en geeft aan welke ongevalsscenario's bepalend zijn op een zekere afstand van de bron.



Figuur 2.3.4.5.4 Maximaal plaatsgebonden mensrisico voor een 10" losarm voor schepen (3.000 h/j), in functie van de afstand tot de vrijzettinglocatie

Op het niveau van $10^{-5}/j$ verschilt het plaatsgebonden mensrisico dat uitgaat van de bestudeerde losarm, met uitzondering van methaan, weinig voor de bestudeerde tot vloeistof gekoelde gassen. Volgende verklaringen kunnen hiervoor worden gegeven:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van $10^{-5}/j$ hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een plasbrand na een breuk van de losarm met een werkend noodstopstelsel.
- ❑ De effecten van een plasbrand na een breuk van de losarm met een werkend noodstopstelsel verschillen slechts weinig voor de bestudeerde gassen (zie tabel 2.3.4.5.11). De effecten worden enerzijds bepaald door de omvang van de vlam (vlamdiameter en -hoogte) en anderzijds door de stralingswarmteflux van de vlam.
- ❑ Bij een breuk van een losarm met werkend noodstopstelsel en een vrijzetting op water worden de grootste plassen bekomen voor de vloeibare gassen met het kleinste verdampend vermogen, i.e. vloeibare gassen met het hoogste atmosferische kookpunt (C_4 -gassen). De verschillen in plasdiameter zijn, met uitzondering van methaan, echter beperkt.
- ❑ De L/D-verhouding van de vlam is, in tegenstelling tot de plas- of vlamdiameter, het grootst voor de vloeibare gassen met het laagste atmosferische kookpunt. De kleinere plas- of vlamdiameter voor vloeibare gassen met een laag atmosferisch kookpunt wordt dus (deels) gecompenseerd door een grotere vlamlengte.

- ❑ Voor vloeibare gassen met minder dan 5 koolstofatomen wordt conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* uitgegaan van een volledig heldere vlam met een constante stralingswarmteflux van 265 kW/m².
- ❑ Voor methaan, een laag reactief gas, worden ten slotte veel lagere ontstekingskansen toegepast dan voor de andere ontvlambare gassen. Als gevolg hiervan is de risicoafstand tot 10⁻⁵/j voor methaan wel beduidend kleiner dan voor de andere ontvlambare gassen.

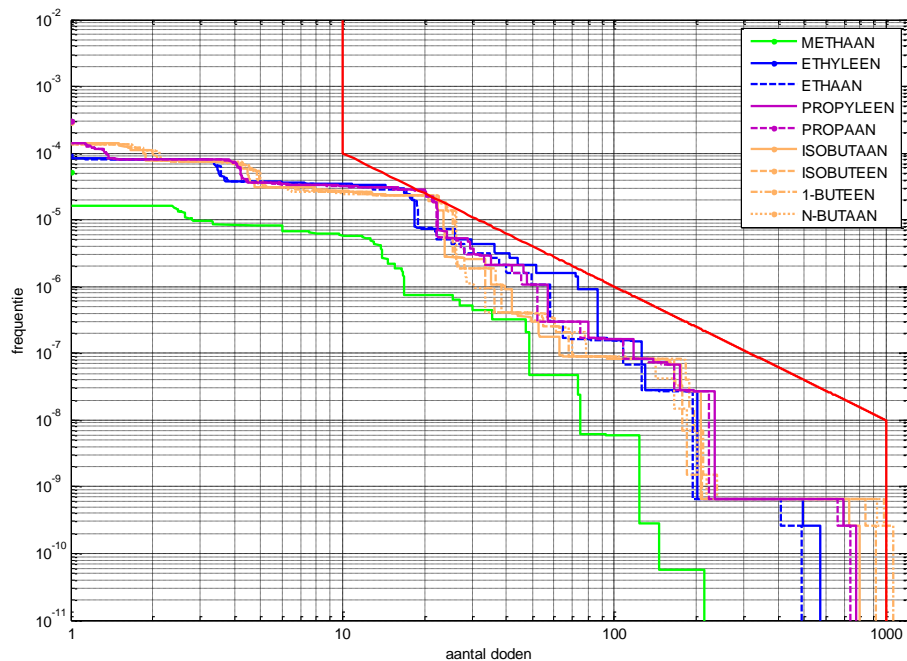
Op het niveau van 10⁻⁶/j tot 10⁻⁸/j is het plaatsgebonden risico het grootst voor ethyleen (alle bestudeerde gassen), propyleen (enkel C₃/C₄-gassen) en 1-buteen (enkel C₄-gassen). De redenen hiervoor zijn de volgende:

- ❑ Het plaatsgebonden mensrisico wordt op het niveau van 10⁻⁶/j tot 10⁻⁸/j hoofdzakelijk bepaald door het scenario van een wolkbrand en gaswolkexplosie na een breuk van de losarm met een werkend noodstopsysteem.
- ❑ De effecten van een wolkbrand (omvang van de geprojecteerde brandbare wolk op grondniveau) worden bepaald door het verdampend vermogen van de gevormde plas, door de onderste explosiegrens van het ontvlambare gas en bij stabiele weersomstandigheden door de dichtheid van het vrijgezette gas (zwaargasgedrag).
- ❑ Het verdampend vermogen van de plas (i.e. het representatieve verdampingsdebiet) is voor het scenario van een breuk van de losarm met een werkend noodstopsysteem het grootst voor ethyleen, gevolgd door methaan, ethaan en propyleen (zie vijfde kolom van tabel 2.3.4.5.11).
- ❑ Het schadegebied van een wolkbrand wordt conform het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* afgebakend door de onderste explosiegrens van het ontvlambare gas. Deze onderste explosiegrens neemt over het algemeen af met een toenemend atmosferische kookpunt (zie zesde kolom van tabel 2.3.4.5.11).
- ❑ De verhouding van het representatieve verdampingsdebiet (in m³/s) tot de onderste explosiegrens (m³/m³) kan over het algemeen⁽⁷⁰⁾ worden aanzien als een maatgevende parameter voor de omvang van de brandbare wolk. Deze verhouding (zie laatste kolom van tabel 2.3.4.5.11) is voor het scenario van een breuk van de losarm met een werkend noodstopsysteem duidelijk het grootst voor ethyleen (alle bestudeerde gassen), propyleen (C₃/C₄-gassen) en 1-buteen (C₄-gassen).
- ❑ Bij stabiele weersomstandigheden (weertypes E30 en F20) heeft ook de dampdichtheid een relevante impact op de omvang van de effecten van een wolkbrand omdat het zwaar gas bij beperkte atmosferische turbulentie onder invloed van de zwaartekracht de neiging heeft uit te zakken waardoor de omvang van de brandbare wolk op grondniveau toeneemt (i.e. zwaargasgedrag).

⁷⁰ In geval van een relatief korte vrijzetting aan een hoog debiet (noodstop werkt), kan de brandbare wolk bij stabiele weersomstandigheden (E30 en F20) niet altijd de steady-state toestand bereiken, waardoor de omvang van de brandbare wolk kleiner uitvalt dan verwacht op basis van de verhouding van het verdampingsdebiet tot de onderste explosiegrens. Dit is bijvoorbeeld het geval voor methaan, ethyleen, ethaan, propaan en propyleen bij weertypes E30 en F20. Het effect is minder uitgesproken voor het scenario gaswolkexplosie omdat de grootste brandbare massa in de wolk zich dicht bij de bron bevindt (boven de plas).

- De effecten van een gaswolkexplosie zijn gerelateerd aan de maximale explosieve massa in de brandbare wolk. Naast het verdampend vermogen van de gevormde plas en de onderste explosiegrens van het ontvlambare gas worden de effecten van een gaswolkexplosie bijkomend bepaald door de dampdichtheid en in mindere mate door de bovenste explosiegrens⁽⁷¹⁾ van het ontvlambare gas.
- Voor methaan, een laag reactief gas, worden ten slotte veel lagere ontstekingskansen toegepast dan voor de andere ontvlambare gassen. Als gevolg hiervan zijn de risicoafstanden veel kleiner voor methaan dan voor de andere ontvlambare gassen.

Figuur 2.3.4.5.5 toont het berekende groepsrisico van een losarm die wordt aangewend bij een scheepslissing van tot vloeistof gekoelde gassen (3.000 h/j) in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid (max. 10 pers/ha, hoofdzakelijk binnen). De berekende FN-curven voor de bestudeerde gassen verschillen, met uitzondering van methaan, weinig van elkaar. Het scenario met het grootste aantal slachtoffers wordt bekomen voor 1-buteen.



Figuur 2.3.4.5.5 Groepsrisico van een 10'' losarm (3.000 h/j) voor een scheepslissing van gekoelde gassen in een omgeving met een uniforme populatie (max. 10 pers/ha)

Volgende verklaringen kunnen worden aangehaald voor het maximaal aantal slachtoffers dat wordt bekomen voor 1-buteen:

- Het maximaal aantal doden wordt bekomen voor het scenario van een gaswolkexplosie na een breuk van de losarm met een falend noodstopsysteem en dit onder de meest ongunstige weersomstandigheden (weertype F20 overdag).

⁷¹ Bij vrijzettingen met een hoog vrijzettingsdebiet per oppervlakte-eenheid (vrijzettingen van C₁- en C₂- en C₃-gassen op water) kunnen concentraties in de wolk oplopen tot boven de bovenste explosiegrens.

3 MENGSELS

Een homogeen mengsel kan beschouwd worden als een zuivere stof met bijhorende (gemiddelde) stofeigenschappen. Een typisch voorbeeld hiervan is lucht. In de effectberekeningen kan een mengsel op verschillende manieren gemodelleerd worden: bijvoorbeeld door gebruik te maken van gemiddelde stofeigenschappen of door één van de componenten (of meer algemeen een zuivere stof) te kiezen als zijnde representatief voor het mengsel.

Er worden in deze studie vier verschillende soorten mengsels expliciet beschouwd. Deze kunnen ondergebracht worden in twee verschillende groepen:

1. mengsels waarvoor gebruik kan gemaakt worden van hoger afgeleide indices voor de zuivere componenten (§ 3.2):
 - ❑ mengsels van acuut inhalatoir toxische vloeistoffen,
 - ❑ mengsels van ontvlambare vloeistoffen;
2. mengsels waarvoor gebruik kan gemaakt worden van hoger berekende effect- en risicoafstanden voor de zuivere componenten (§ 3.3):
 - ❑ mengsels van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen,
 - ❑ mengsels van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen;

In voorliggende studie worden in het bijzonder de vaak voorkomende mengsels bestudeerd, zoals LNG, LPG, nafta, benzine, kerosine, diesel, en gasolie. Met uitzondering van LNG (een aardgasfractie) zijn dit typische aardoliefracties. In § 3.1.1 worden deze fracties nader gedefinieerd.

3.1 ACHTERGROND

3.1.1 Aardoliefracties

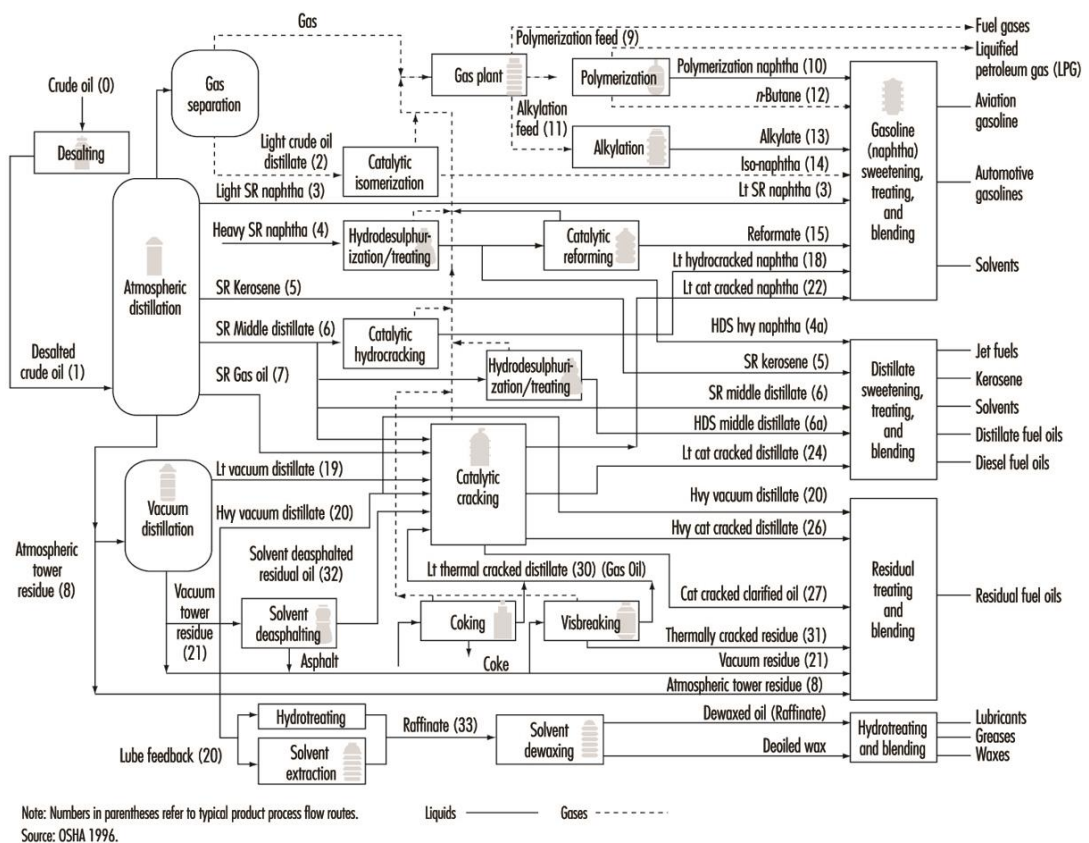
AARDOLIE – Aardolie of petroleum is een vloeibaar mengsel van koolwaterstoffen dat is ontstaan uit organische resten. Aardolie bevat niet-cyclische alkanen (paraffinen), cycloalkanen (naftenen), aromaten en bitumen. In een raffinaderij wordt ruwe aardolie gescheiden in een groot aantal fracties en producten met een verschillende dichtheid en kookpunt (zie figuur 3.1). De belangrijkste fracties die worden bekomen uit de destillatie van ruwe aardolie zijn:

- ❑ gassen (o.a. LPG)
- ❑ nafta (wordt verder verwerkt tot benzines, solventen en jetbrandstof)
- ❑ kerosine (wordt verder verwerkt tot jetbrandstof, lampolie)
- ❑ middendestillaat & gasolie (wordt verder verwerkt tot diesel en lichte stookolie)
- ❑ residu (wordt verder gedestilleerd en verwerkt tot smeeroliën en zware stookolie)

GASCONDENSAAT – Aardgascondensaat of gascondensaat is een mengsel van koolwaterstoffen ($C_2 - C_{12}$) dat in gasvormige toestand aanwezig is in ruw aardgas. Het wordt bekomen als een condensaat van aardgas bij het verlagen van de temperatuur van het ruwe aardgas tot onder zijn dauwpunt. Het condensaat wordt soms ook natuurlijke benzine genoemd omdat de koolwaterstoffen in het condensaat een gelijkaardig kook-traject hebben als benzine.

Gascondensaat bestaat hoofdzakelijk uit een mengsel van pentaan, hexaan, cyclohexaan, heptaan, octaan en een kleinere fractie aromaten (o.a. benzeen, toluen en xyleen). De dampspanning van gascondensaat bedraagt typisch 70 tot 85 kPa (10-12 psi) bij 37,8°C.

LPG – LPG (*liquefied petroleum gas*) is typisch een mengsel van propaan, n-butaan en isobutaan, met kleinere fracties propeen en butenen. De concentratie van de verschillende componenten kan variëren van hoofdzakelijk C_3 tot hoofdzakelijk C_4 .



Figuur 3.1 Destillatieschema van ruwe aardolie

NAFTA – Nafta is een algemene term die wordt gebruikt voor ontvlambare vloeibare koolwaterstofmengsels met een kooktraject⁽⁷²⁾ tussen 30 en 180°C. Nafta wordt bekomen uit de destillatie van aardolie of uit aardgascondensaten. De term nafta wordt meestal gebruikt voor de ruwe ongeraffineerde koolwaterstofmengsels. Op basis van het kookpunt (kooktraject) van het mengsel wordt een onderscheid gemaakt tussen lichte en zware nafta.

Lichte nafta is de fractie die kookt tussen 30 en 90°C en bestaat hoofdzakelijk uit niet-cyclische alkanen (ca. 85%) met 5 à 6 koolstofatomen. De dampspanning van lichte nafta bedraagt typisch 60 tot 95 kPa (9-14 psi) bij 37,8°C.

Zware nafta kookt tussen 90 en 180°C en bestaat hoofdzakelijk uit cyclische en niet-cyclische alkanen (ca. 80%) en aromaten (ca. 20%) met 6 tot 12 koolstofatomen. De dampspanning van zware nafta bedraagt typisch 15 tot 60 kPa (2-9 psi) bij 37,8°C.

⁷² Aangezien het kooktraject van nafta zeer ruim is gedefinieerd, is het onvoldoende om in het kader van een kwantitatieve risicoanalyse te spreken over nafta, zonder het kooktraject of de dampspanning van het product verder te specificeren.

BENZINE – De term benzine verwijst doorgaans naar een geraffineerd product dat wordt bekomen door de verdere behandeling (o.a. ontzwaveling en isomerisatie) van nafta. Benzine wordt hoofdzakelijk gebruikt als auto- of vliegtuigbrandstof⁽⁷³⁾.

Autobenzine wordt ingedeeld in verschillende klassen (A tot E) naargelang de dampspanning van het product. Winterbenzine (klasse E) heeft typisch een dampspanning van 65 tot 95 kPa (10 - 14 psi) bij een temperatuur van 37,8°C. Zomerbenzine (klasse A) heeft typisch een dampspanning van 45 - 60 kPa (7 - 9 psi).

Vliegtuigbenzine heeft een lagere en meer uniforme dampspanning dan autobenzine, zodat het in vloeibare toestand blijft ondanks de lagere omgevingsdruk op grote hoogte. De dampspanning van vliegtuigbenzine bedraagt typisch 40 – 50 kPa (6 - 7 psi) bij 37,8°C.

KEROSINE – Kerosine is de algemene term die wordt gebruikt voor een middendestillaat van aardolie met een kooktraject tussen 150 en 280°C. Kerosine bestaat hoofdzakelijk uit cyclische en niet-cyclische alkanen (ca. 80%) en aromaten (ca. 20%) met 12 tot 16 koolstofatomen. De dampspanning van kerosine bedraagt typisch 1,4 kPa bij 37,8°C. Het vlampunt van kerosine ligt tussen 37 en 74°C, waardoor de vloeistof is ingedeeld als een ontvlambare vloeistof van categorie 3.

JET FUEL – Geraffineerde kerosine wordt hoofdzakelijk gebruikt als brandstof voor straalmotoren. De meest gebruikte brandstoffen voor de commerciële luchtvaart zijn 'Jet A' en 'Jet A-1'⁽⁷⁴⁾ (C₈ - C₁₆) met een vlampunt van 38°C of meer en een dampspanning van minder dan 0,3 kPa bij 20°C.

'Jet B'⁽⁷⁵⁾ (C₅ - C₁₅) is een brandstof voor straalmotoren bestaande uit een mengsel van benzine (70%) en kerosine (30%) met verbeterde prestaties bij zeer koude omstandigheden. Het product heeft een zeer laag vriespunt (-60°C), een laag vlampunt (< 0°C) en een dampspanning van ca. 20 kPa bij 37,8°C.

De militaire tegenhangers voor de brandstoffen 'jet A-1' en 'jet B' zijn JP-8 en JP-4. Tot 1990 was JP-4 (vergelijkbaar met 'jet B') de meest gebruikte brandstof voor militaire straalvliegtuigen. Daarna werd JP-8, een minder gevaarlijke kerosine-variant van JP-4 met een hoger vlampunt (≥ 38°C), het meest gebruikt voor militaire toepassingen. JP-5 is een brandstof met een nog hoger vlampunt (≥ 60°C) dat hoofdzakelijk wordt aangewend op vliegdekschepen.

3.1.2 Aardgas

AARDGAS – Aardgas bevat hoofdzakelijk methaan, maar bevat typisch ook ethaan, propaan en zwaardere koolwaterstoffen. Kleine fracties stikstof⁽⁷⁶⁾, zuurstof, koolstofdioxide, zwavelverbindingen en water kunnen ook voorkomen in aardgas.

LNG – LNG (*liquefied natural gas*) is tot vloeistof gekoeld aardgas. Tijdens het vloeibaarmaken worden componenten zoals waterdamp, CO₂ en zwaardere koolwaterstoffen uit het aardgas

⁷³ Vliegtuigbenzine wordt gebruikt voor kleinere vliegtuigen met een zuigermotor.

⁷⁴ Jet A-1 heeft een lager smeltpunt (-47°C) dan jet A (-40°C).

⁷⁵ De brandstof is ook bekend als *wide-cut jet fuel* of *wide-cut kerosene*.

⁷⁶ Groningen aardgas met een relatief hoge stikstofconcentratie van ca. 14 mol% vormt hier een belangrijke uitzondering op.

verwijderd. Hierdoor is LNG een mengsel van koolwaterstoffen dat voornamelijk uit methaan (ca. 90 gew%) bestaat met kleinere fracties van o.m. ethaan, propaan en stikstof.

3.2 LITERATUURSTUDIE

3.2.1 LNG

3.2.1.1 OVR/13/36 Fluxys LNG

Het LNG in de terminal bestaat typisch uit methaan (90 gew%) en ethaan (10 gew%). Gezien het verschil in atmosferisch kookpunt tussen methaan en ethaan zal bij verdamping van het vloeibare LNG eerst methaan als damp vrijkomen. Meer bepaald bestaat de damp vrijwel volledig uit zuiver methaan zolang niet meer dan ca. 70% van de vloeistof is verdampt.

In de QRA is uitgegaan van de eigenschappen en de vervolgcansen voor zuiver **methaan**.

3.2.1.2 QRA Vloeibaar aardgas (LNG) terminal op de Maasvlakte (Oranjewoud, 2006)

De in de QRA gehanteerde dichtheid (i.c. 415 kg/m³) is deze van zuiver methaan. In de praktijk ligt de dichtheid van LNG hoger (430 tot 480 kg/m³) en bevat het LNG kleine fracties ethaan en andere lichte koolwaterstoffen. Het gehanteerde QRA model is echter primair geschikt voor zuivere stoffen.

In de QRA is uitgegaan van de eigenschappen en de vervolgcansen voor zuiver **methaan**.

3.2.2 Tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen (LPG ...)

3.2.2.1 OVR/13/03 Total Raffinaderij Antwerpen

Bij het berekenen van de scenario's van de LPG-verladingen is uitgegaan van **propaan** aangezien dit product het meest frequent wordt beladen, alsook het meest risicovol is (gezien het lage kookpunt).

3.2.2.2 OVR/13/29 Esso Raffinaderij Belgium

Voor de verladingen van LPG wordt **propaan** als representatieve stof weerhouden.

3.2.2.3 OVR/14/01 BASF – Centraal Tankpark

Bij mengsels van koolwaterstoffen is bij de berekeningen van leidingen voor vloeibaar gemaakte, zeer licht ontvlambare gassen steeds uitgegaan van de meest vluchtige component van de groep, t.t.z. voor C₃-mengsels is uitgegaan van **propyleen**, voor C₄-mengsels van **isobutaan**.

3.2.3 Aardoliefracties (nafta, benzine ...)

3.2.3.1 Bulkopslag

3.2.3.1.1 OVR/11/07 Oiltanking Stolthaven Antwerpen (OTSA)

Nafta en benzine (kooktraject: 25 – 220°C; vlampunt: < -40°C) worden onder de noemer minerale oliën geplaatst, waarvoor de effectberekeningen uitgevoerd worden met isopentaan.

3.2.3.1.2 OVR/12/04 Antwerp Distribution & Product Operations (ADPO)

Voor nafta en benzine als zijnde ontvlambare vloeistoffen (P1 – P4) wordt vinylacetaat als representatieve stof gebruikt.

3.2.3.1.3 OVR/12/13 Vopak Terminal Linkeroever (VTL)

De zeer licht ontvlambare producten betreffen isopreen, n-pentaaan en benzine (kooktraject: 20 – 200°C; vlampunt < -40°C). Hiervoor wordt isopreen als representatieve stof weerhouden.

3.2.3.1.4 OVR/12/17 Antwerp Terminal & Processing Company (ATPC) en Antwerp Processing Company (APC)

In TP600 worden P1-producten (typisch benzines) opgeslagen die geen verband houden met de activiteiten van APC. Voor deze producten wordt isopreen als representatieve stof weerhouden.

3.2.3.2 OVR/13/38 ADPO Liefkenshoek

Voor nafta en benzine als zijnde ontvlambare vloeistoffen (P1 – P4) wordt n-pentaaan als representatieve stof gebruikt.

3.2.3.3 OVR/13/41 Noord Natie Terminals

Benzine (kooktraject: 25 – 220°C; vlampunt: < -40°C) wordt beschouwd als een zeer licht ontvlambare vloeistof (Seveso cat. 8). Hiervoor wordt isopentaaan als representatieve stof gebruikt.

3.2.3.4 OVR/13/45 Sea Tank Terminal Antwerp

Voor benzine (kooktraject: 30 – 225°C; vlampunt: < -40°C) wordt n-hexaan als representatieve stof weerhouden.

3.2.3.5 Overige

3.2.3.5.1 OVR/13/03 Total Raffinaderij Antwerpen

Het product aanwezig in de installaties betreft in de meeste gevallen een mengsel van verschillende C-fracties. Als referentieproduct is de koolwaterstof overeenkomstig de belangrijkste koolstofcomponent gekozen.

Enkele voorbeelden zijn:

- ❑ nafta (kooktraject: 100 – 200°C; vlampunt: 62°C) : n-hexaan;
- ❑ benzine (kooktraject: 38 – 205°C; vlampunt: < -20°C): n-hexaan;
- ❑ kerosine (kooktraject: 125 – 292°C; vlampunt: > 49°C): n-octaan;
- ❑ gasolie (kooktraject: 180 – 370°C; vlampunt: > 55°C): n-decaan.

Voor de verladingen van de eindproducten (andere dan LPG) is ervoor geopteerd om de berekeningen uit te voeren met benzine (n-hexaan) als representatieve stof.

3.2.3.5.2 OVR/13/29 Esso Raffinaderij Belgium

Voor installaties waar meerdere producten samen kunnen voorkomen (bv. proces-installaties) of waar verschillende producten in kunnen voorkomen (bv. opslagtanks) wordt gerekend met een representatieve stof. De keuze van de representatieve stof is gebaseerd op het vlampunt in combinatie met de dampdruk, alsook op basis van *expert judgement*.

Hieronder worden voor enkele veel voorkomende producten op de raffinaderij de representatieve stoffen vermeld:

- benzine (kooktraject: 38 – 205°C; vlampunt: < -20°C): n-hexaan;
- kerosine (kooktraject: 125 – 292°C; vlampunt: > 49°C): n-nonaan;
- diesel: n-undecaan.

Voor de verladingen van de eindproducten (andere dan LPG) worden volgende representatieve stoffen weerhouden:

- commerciële brandstoffen (o.a. benzine): n-hexaan;
- oplosmiddelen: n-pentaaan.

3.2.3.5.3 OVR/14/01 BASF – Centraal Tankpark

In Tankpark Oost bevinden zich twee grote atmosferische naftatanks (B120-121). In de selectietabel is uitgegaan van n-hexaan als representatieve stof voor nafta (kooktraject: 35 – 180°C; vlampunt: < -20°C).

3.2.3.5.4 OVR/14/01 BASF – Steamcracker

Zuivere stoffen komen in de inrichting nagenoeg niet voor. Meestal zijn het mengsels van een ganse reeks koolwaterstoffen met als belangrijkste karakteristieke eigenschap de ontvlambaarheid en de fysische toestand bij atmosferische omstandigheden. Om deze reden zijn de meeste mengsels bij de stofinventaris ingedeeld als zeer licht ontvlambaar gas (ZLOG), licht ontvlambare vloeistof (LOV) of ontvlambare of brandbare vloeistof (OBV):

- Tot de groep van zeer licht ontvlambare gassen (ZLOG) die in de steamcracker voorkomen, behoren o.a. waterstof, methaan, etheen, ethaan, propeen, propaan, butadien, buteen, n-butaan, isobutaan of mengsels daarvan.
- De groep van licht ontvlambare vloeistoffen (LOV) omvat een ganse reeks van C₅- tot C₈-koolwaterstoffen (zowel paraffinen, olefinen, naftenen en aromaten) of mengsels met gelijkaardige ontvlambaarheid (vlampunt ≤ 21 °C).
- De groep van de ontvlambare en brandbare vloeistoffen (OBV) omvat C₉- en hogere koolwaterstoffen (zowel paraffinen, olefinen, naftenen en aromaten) of mengsels met gelijkaardige ontvlambaarheid (vlampunt > 21 °C).

Voor de zeer licht ontvlambare gassen (ZLOG) lijken de eigenschappen van ethyleen gebruikt te zijn om in de selectietabel het verband tussen de dampdruk en de temperatuur te bepalen. Voor de licht ontvlambare vloeistoffen (LOV) is in de selectietabel een (fictieve) stof gebruikt met een

atmosferisch kookpunt gelijk aan 35°C en een dampspanning van 1,90 bar bij 80°C en 2,49 bar bij 94°C. In vergelijking met n-pentaaan is de dampspanning eerder beperkt: 3,68 bar bij 80°C en 5,16 bar bij 94°C.

3.2.3.5.5 OVR/14/09 Total Olefins Antwerp (site A)

Voor de opslaghouders waarin in de toekomst een range van producten kan worden opgeslagen, wordt in de subselectie [en de QRA] uitgegaan van een representatieve stof die een representatieve, doch conservatieve inschatting geeft van het intrinsieke gevaar dat uitgaat van de groep van producten die mogelijk in de betreffende houder in opslag kunnen zijn.

Concreet worden volgende representatieve stoffen genomen:

- C₅ en zwaarder: n-pentaaan;
- ruwe gasoline (C₆/C₈) (kooktraject: 45 – 340°C; vlampunt: < 35°C): n-hexaan;
- P3 aardolieproducten: diesel.

Voor de verlading van vloeibare koolwaterstoffen worden volgende representatieve stoffen gebruikt:

- C₅/C₉: n-pentaaan;
- C₆-CUT, C₇/C₉, C₆/C₈, benzeen, gehydrogeneerde kraakbenzine en ruwe kraakbenzine: n-hexaan;
- PFO (*pyrolysis fuel oil*): n-decaan.

Nafta wordt in de effectberekeningen gemodelleerd als n-pentaaan. In de selectietabel wordt evenwel een kooktemperatuur van 205°C gebruikt voor nafta, terwijl in het overzicht van de gevaarlijke stoffen een kooktraject van 40 – 170°C vermeld wordt.

3.2.3.6 Bevindingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de representatieve stoffen die in één of meerdere van de bestudeerde rapporten gebruikt werden voor de vaak voorkomende mengsels, zoals nafta, benzine, kerosine, diesel, en gasolie.

Mengsel	Representatieve stof
nafta, benzine (bulkopslag)	isopentaaan (2/7), isopreen (2/7), n-hexaan (1/7), n-pentaaan (1/7), vinylacetaat (1/7)
nafta, benzine (overige)	n-pentaaan (1/4), n-hexaan (4/4)
kerosine	n-octaan (1/2), n-nonaan (1/2)
diesel, gasolie	n-decaan (1/2), n-undecaan (1/2)

Tabel 3.2.3.6.1 Overzicht representatieve gevaarlijke stoffen voor vaak voorkomende mengsels van ontvlambare gassen en vloeistoffen

3.2.4 Overige

Aangezien mengsels ontelbare samenstellingen kunnen hebben is vaak een ad hoc werkwijze vereist. Hieronder worden enkele praktijkvoorbeelden gegeven.

3.2.4.1 OVR/13/01 Janssen Pharmaceutica

Voor de vrijzetting van toxische gassen wordt rekening gehouden met de (maximale) vorming van waterstofchloride HCl bij een Friedel-Craft reactie m.n. 972 kg HCl. Hiervoor worden geen effecten gevonden buiten de terreingrens.

Een vrijzetting van een mengsel van waterstofchloride HCl en zwaveldioxide SO₂ is mogelijk bij een reactie waarbij thionylchloride is betrokken. Meer bepaald gaat het om de vorming van 150 kg HCl en 265 kg SO₂⁷⁷. “Omdat de totale hoeveelheid stof hier minder dan de helft bedraagt dan bij het scenario voor HCl en de LC_{01,30} van het mengsel⁷⁸ op nog niet de helft (700 mg/m³) ligt van deze van HCl (1040 mg/m³) anderzijds, kan men zonder meer besluiten dat ook voor dit mengsel er geen relevante effecten in de omgeving moeten verwacht worden.

Er wordt met andere woorden geen bijkomende effectberekening uitgevoerd voor het mengsel op basis van een representatieve stof, aangezien er reeds conservatieve effectberekeningen werden uitgevoerd voor één van de componenten. Impliciet wordt gesteld dat het quotiënt van de hoeveelheid gas (die vrijkomt) en de LC_{01,30} bepalend is voor de acute effecten van inhalatie van een toxisch gas.

3.2.4.2 OVR/13/27 Lanxess Rubber

Isobutyleen uit D3, methylchloride uit D9A/B en isopreen uit D40A, D41A/B worden in de gewenste verhouding gemengd. [...] Dit mengsel noemt men de gemengde voeding. Na koeling wordt de gemengde voeding verzameld in buffervaten D10A/B.

Installatie	Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)	Kookpunt (°C)	Vlampunt (°C)
D10A/B	methylchloride	methylchloride	83,4	< 45000	20/40	< 6	-24	-46
	isobutyleen	isobutyleen		< 25000			-7	-76
	isopreen	isopreen		< 7500			34	-20

Tabel 3.2.4.2.1 Selectietabel D10A/B (OVR/13/27)

Voor D10A/B wordt voor het scenario BLEVE gerekend met zuiver methylchloride omdat hiervan de hoogste overdruk te verwachten is. *Methylchloride heeft immers de hoogste dampspanning.*

⁷⁷ Deze hoeveelheid werd evenwel berekend op basis van de verkeerdelijk veronderstelling dat per mol thionylchloride SOCl₂ er één mol HCl en één mol SO₂ gevormd wordt.

⁷⁸ Bepaald volgens module 20 (Intoxicatie) van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

Voor de overige scenario's wordt conservatief gerekend met zuiver isobutyleen. *Methylchloride heeft immers een zeer hoge onderste explosiegrens van 8,1 mol%.*

Het voorbeeld toont dat een conservatieve aanpak kan bestaan in het gebruik van meerdere representatieve stoffen, waarbij voor elk vervolgsenario telkens de component van het mengsel die leidt tot de grootste effectafstand weerhouden wordt.

3.2.4.3 OVR/14/01 BASF – Dichloorethaaninrichting

Chloorkoolwaterstoffen (CKW's) zijn mengsels van uiteenlopende gechloreerde koolwaterstoffen. Sommige van deze mengsels zijn als licht ontvlambaar en/of als toxisch ingedeeld. In dit OVR wordt ervan uitgegaan dat alle CKW's én licht ontvlambaar én toxisch zijn. Voor de eigenschappen worden de meest nadelige waarden gebruikt (laagste vlampunt, grootste dichtheid, hoogste vluchtigheid...).

De voorgestelde conservatieve aanpak is hier mogelijk, aangezien de installaties met CKW's niet geselecteerd worden voor de QRA.

3.3 MENGSELS VAN ACUUT INHALATOIR TOXISCHE OF ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN

Om meer inzicht te verschaffen in het gedrag van een mengsel van vloeistoffen wordt hieronder uitgegaan van ideale vloeistofmengsels. In de praktijk dient uiteraard rekening gehouden te worden met de niet-idealiteit van een vloeistofmengsel. In een QRA wordt evenwel doorgaans abstractie gemaakt van het werkelijke gedrag van een vloeistof-mengsel door de keuze van een representatieve zuivere stof.

3.3.1 Algemeen

3.3.1.1 Dampdruk van een vloeistofmengsel

De dampdruk van een homogeen mengsel van vloeistoffen is de som van de damp-drukken van elk van de componenten van het vloeistofmengsel. Voor een ideaal vloeistof-mengsel geldt de wet van Raoult die stelt dat de dampdruk van een component in een vloeistofmengsel gelijk is aan het product van de molaire fractie van de component en de dampdruk van de component als zuivere stof.

3.3.1.2 Onderste explosiegrens van een dampmengsel

De onderste explosiegrens van een dampmengsel LEL_{mengsel} kan geschat worden met behulp van de regel van Le Chatelier:

$$\frac{1}{LEL_{\text{mengsel}}} = \sum_i \frac{c_i}{LEL_i}$$

waarin c_i (mol%) de concentratie van component i in het mengsel van brandbare dampen is en LEL_i (mol%) de onderste explosiegrens van component i .

3.3.1.3 Verdamping van een vloeistofmengsel

Wanneer een zuivere vloeistof verdampt is er geen weerstand in de vloeistoffase, aangezien er geen concentratiegradiënten zijn. Voor de verdamping van vloeistof-mengsels wordt uitgegaan van twee extreme situaties.

- Indien wordt uitgegaan van een oneindig snelle diffusie in de vloeistoffase (perfecte menging), zal de damp die vrijkomt in evenwicht zijn met de bulk van de vloeistof en zal deze doorgaans een samenstelling hebben die verschilt van deze van de vloeistof. De vluchtigste componenten verdampen het eerst en als gevolg daarvan neemt de verdampingssnelheid af in de tijd.
- Indien wordt uitgegaan van een oneindig trage diffusie in de vloeistoffase (geen menging), zal de samenstelling van de damp die vrijkomt dezelfde zijn als deze van de vloeistof. De verdampingssnelheid blijft constant in de tijd.

In de werkelijkheid zal er zich een situatie voordoen die zich tussen deze twee extreme situaties bevindt. Diffusie in de vloeistoffase verloopt sneller naarmate de viscositeit van deze fase lager is.

Bijgevolg zullen mengsels met een relatief lage viscositeit, zoals LNG en benzine, eerder het eerste gedrag vertonen.

3.3.2 Voorgestelde werkwijzen

De keuze voor een representatieve stof is gebaseerd op de hoger bepaalde indices:

- ❑ ofwel wordt (conservatief) de component met de hoogste waarde voor de index als representatief aanzien voor het mengsel;
- ❑ ofwel wordt een index bepaald op basis van de eigenschappen voor het mengsel en worden de berekeningen uitgevoerd met de referentiestof horende bij deze index.

3.3.2.1 Mengsels van acuut inhalatoir toxische vloeistoffen

Uit § 2.3.1 blijkt dat de effecten en de risico's van acuut inhalatoir toxische vloeistoffen voornamelijk bepaald worden door de dampdruk, de molaire massa en de letale concentratie. Deze eigenschappen zullen tevens de effecten en de risico's van mengsels van toxische vloeistoffen bepalen.

De toxiciteitsindex van het mengsel wordt als volgt bepaald:

- ❑ De dampdruk van het mengsel wordt berekend met behulp van de wet van Raoult voor ideale vloeistofmengsels. Deze berekening geeft inzicht in welke componenten preferentieel verdampen, m.n. de componenten met de grootste bijdrage in de totale dampdruk. Indien de dampdruk van het mengsel gekend is, is het uiteraard beter deze te weerhouden.
- ❑ De samenstelling van het dampmengsel wordt geschat: ofwel gelijk aan de samenstelling van het vloeistofmengsel, ofwel gebaseerd op de hoger berekende partiële dampdrukken.
- ❑ De molaire massa van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling.
- ❑ De letale concentratie van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling en met behulp van de werkwijze uit module 20 (Intoxicatie) van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

3.3.2.2 Mengsels van ontvlambare vloeistoffen

Uit § 2.3.2 blijkt dat de effecten en de risico's van ontvlambare vloeistoffen met een vlampunt lager dan ca. 20°C voornamelijk bepaald worden door de dampdruk en de onderste explosiegrens. Deze eigenschappen zullen tevens de effecten en de risico's van mengsels van ontvlambare vloeistoffen bepalen.

De ontvlambaarheidsindex van het mengsel wordt als volgt bepaald:

- ❑ De dampdruk van het mengsel wordt berekend met behulp van de wet van Raoult voor ideale vloeistofmengsels. Deze berekening geeft inzicht in welke componenten preferentieel verdampen, m.n. de componenten met de grootste bijdrage in de totale dampdruk. Indien de dampdruk van het mengsel gekend is, is het uiteraard beter deze te weerhouden.

- ❑ De samenstelling van het dampmengsel wordt geschat: ofwel gelijk aan de samenstelling van het vloeistofmengsel, ofwel gebaseerd op de hoger berekende partiële dampdrukken.
- ❑ De onderste explosiegrens van het dampmengsel wordt berekend op basis van zijn geschatte samenstelling en met behulp van de wet van Le Chatelier.

3.3.2.3 Voorbeeld: winterbenzine

Winterbenzine (klasse E) heeft typisch een dampspanning van 650 tot 950 mbar bij een temperatuur van 37,8°C. De onderstaande tabel geeft de samenstelling en de op basis van de wet van Raoult geschatte dampdruk van een winterbenzine bij 13°C en 37,8°C.

Stof	Mol-fractie (-)	Dampdruk zuivere stof bij 13°C (mbar)	Dampdruk component bij 13°C (mbar)	Dampdruk zuivere stof bij 37,8°C (mbar)	Dampdruk component bij 37,8°C (mbar)
isopentaaan	0,21	588,3	123,5	1411	296,3
tolueen	0,17	19,90	3,38	71,19	12,10
2-methylpentaan	0,15	167,1	25,07	466,4	69,96
2-methylheptaan	0,14	13,95	1,953	52,9	7,406
n-butaan	0,12	1649	197,9	3563	427,6
m-xyleen	0,10	5,41	0,541	22,637	2,264
1,2,4-trimethylbenzeen	0,08	1,275	0,102	6,283	0,4990
4-ethyl-m-xyleen	0,03	0,506	0,0152	2,709	0,0813
mengsel (winterbenzine)	1,00	-	352,5	-	816,2

Tabel 3.1.3.1.1 Samenstelling en geschatte dampdruk van een winterbenzine

Uit de tabel blijkt dat de grootste bijdrage tot de totale dampdruk komt van n-butaan en isopentaaan, de meest vluchtige componenten van het mengsel. Bijgevolg zullen n-butaan en isopentaaan het eerst verdampen.

De onderstaande tabel geeft de op basis van de regel van Le Chatelier geschatte onderste explosiegrens van een winterbenzine bij 20°C in de veronderstelling dat de samenstelling van het dampmengsel dezelfde is als deze van het vloeistofmengsel. De onderste explosiegrens bedraagt in dit geval ca. 1,13 mol%.

Stof	Mol-fractie (-)	LEL zuivere stof (mol%)
isopentaaan	0,21	1,4
tolueen	0,17	1,1
2-methylpentaan	0,15	1,2
2-methylheptaan	0,14	0,84

Stof	Mol-fractie (-)	LEL zuivere stof (mol%)
n-butaan	0,12	1,6
m-xyleen	0,10	1,1
1,2,4-trimethylbenzeen	0,08	0,9
4-ethyl-m-xyleen	0,03	0,8
mengsel (winterbenzine)	1,00	1,13

Tabel 3.1.3.2.1 Samenstelling en geschatte onderste explosiegrens van een winterbenzine

Indien verondersteld wordt dat het dampmengsel enkel bestaat uit n-butaan en isopentaaan in een verhouding gebaseerd op de verhouding van de partiële dampdrukken van deze stoffen, zal de onderste explosiegrens ca. 1,54 mol% bedragen.

De ontvlambaarheidsindex van het mengsel bedraagt 482 (gebaseerd op een LEL van 1,13 mol%) of 353 (gebaseerd op een LEL van 1,54 mol%).

3.3.3 Aardoliefracties

Voor winter- en zomerbenzine wordt op basis van de ontvlambaarheidsindex aanbevolen n-pentaaan, respectievelijk cyclopentaaan als representatieve stof te gebruiken. Indien het onderscheid niet gemaakt wordt, wordt aanbevolen conservatief n-pentaaan te gebruiken.

Voor een ontvlambaar, niet-toxisch vloeistofmengsel dat zich onder zijn vlammpunt bevindt dienen conform module 14 (Vervolggebeurtenissen) van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* geen effect-berekeningen uitgevoerd te worden.

3.4 MENGSELS VAN TOT VLOEISTOF VERDICHTE OF GEKOELDE ONTVLAMBARE GASSEN

Voor mengsels van tot vloeistof verdichte of gekoelde ontvlambare gassen wordt deels voortgebouwd op de resultaten voor zuivere tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen (§ 2.3.3) en tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen (§ 2.3.3).

- ❑ ofwel wordt (conservatief) de component met de grootste risico- en effectafstanden als representatief aanzien voor het mengsel;
- ❑ ofwel wordt bijkomend rekening gehouden met de samenstelling van het mengsel.

3.4.1 Mengsels van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

Voor een mengsel van tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen is het gebruikelijk om de component met de grootste risico- en effectafstanden als representatief te aanzien voor het mengsel:

- ❑ Voor LPG (een mengsel van hoofdzakelijk propaan, n-butaan en isobutaan) wordt aanbevolen isobutaan als representatieve stof te gebruiken voor de opslag van LPG in bovengrondse druktanks met een volume groter dan 500 m³, propaan voor de opslag van LPG in ingeterpte druktanks of bovengrondse druktanks met een volume kleiner of gelijk aan 500 m³ en isobutaan voor verladingsactiviteiten van LPG via slangen en/of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.
- ❑ Voor een mengsel van hoofdzakelijk propaan en propyleen (C₃-koolwaterstoffen) wordt aanbevolen propadieen als representatieve stof te gebruiken voor de opslag in bovengrondse druktanks, propyleen voor de opslag in ingeterpte druktanks en propadieen voor de verladingsactiviteiten via slangen en/of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.
- ❑ Voor een mengsel van hoofdzakelijk butanen en butenen (C₄-koolwaterstoffen) wordt aanbevolen isobutaan als representatieve stof te gebruiken voor de opslag van deze gassen in bovengrondse of ingeterpte druktanks en 1-buteen voor de verladingsactiviteiten via slangen en/of armen en de bij de verlading gebruikte leidingen op voorwaarde dat er geen terugstroming mogelijk is vanuit de te bevoorraden installatie en het debiet opgelegd wordt door een pomp.

3.4.2 Mengsels van tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen

Voor LNG wordt in beide bestudeerde veiligheidsrapporten methaan als representatieve stof gebruikt. Aangezien LNG hoofdzakelijk bestaat uit methaan en methaan tevens de (gevaarlijke) component is met het laagste kookpunt (en de hoogste dampspanning), wordt het aanbevolen om de effectberekeningen uit te voeren met methaan als representatieve stof. Het in het LNG aanwezige ethaan is immers omwille van zijn hoger kookpunt beduidend minder vluchtig dan

methaan, waardoor de gevormde wolk hoofdzakelijk zal bestaan uit methaan. Een vergelijking met de resultaten voor de zuivere tot vloeistof gekoelde ontvlambare gassen gaat in het geval van LNG dan ook niet op.

4 INSLUITSYSTEMEN MET EEN NIET-HOMOGENE INHOUD

Aangezien reeds bij het selecteren van de voor het externe mensrisico relevante insluitsystemen mogelijk een representatieve stof gekozen dient te worden, wordt de analyse van representatieve stoffen voor installaties met een niet-homogene inhoud uitgevoerd op het niveau van het insluitsysteem (niet op het niveau van de afzonderlijke installaties).

Een insluitsysteem in een proceseenheid bestaat doorgaans uit meerdere installaties⁷⁹ die met elkaar verbonden zijn. De samenstelling van de stoffen aanwezig in deze installaties kan sterk verschillend zijn, bv. in reactie- of destillatiesecties. Bovendien kunnen de procescondities (druk en temperatuur) sterk verschillen. Een typevoorbeeld van een insluitsysteem met één stof en wisselende procescondities is een koelmachine en van een insluitsysteem met meerdere stofmengsels en wisselende procescondities is een destillatiesectie.

Indien de effecten berekend worden voor het volledige insluitsysteem, dient er uiteraard geen rekening gehouden te worden met mogelijke nalevering. Dit vereenvoudigt de berekeningen. Daar staat tegenover dat het de keuze voor een representatieve stof en bijhorende representatieve druk en temperatuur bemoeilijkt, aangezien installaties die bedreven worden bij verschillende drukken en temperaturen gecombineerd dienen te worden⁸⁰.

⁷⁹ Een installatie is bv. een (buffer)opslagtank, warmtewisselaar, destillatiekolom, refluxdrum, reactorvat ... Voor een installatie worden in de regel faalfrequenties gegeven in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

⁸⁰ Dit probleem stelt zich evenwel ook, indien de ogenblikkelijk aanwezige massa bij een bepaalde druk en temperatuur dient gecombineerd te worden met één of meerdere nageleverde massastromen bij andere drukken en/of temperaturen.

4.1 QRA VAN EEN INSLUITSYSTEEM BESTAANDE UIT MEERDERE INSTALLATIES

Bij het uitwerken van methodes voor het kiezen van representatieve stoffen en bijhorende representatieve condities is het noodzakelijk gebleken om vooraf een kader te creëren voor het uitvoeren van een QRA van een insluitsysteem bestaande uit meerdere installaties. Uit de literatuurstudie van de OVR's was immers o.a. gebleken dat er sterk uiteenlopende werkwijzen gehanteerd worden door de verschillende VR-deskundigen. Het was en is niet het doel van deze studie om een dergelijk kader uit te werken.

De hieronder uitgewerkte werkwijze voor het uitvoeren van een QRA van een insluitsysteem bestaande uit meerdere installaties is slechts een voorstel.

Dit neemt niet weg dat bij het uitwerken van dit voorstel zo veel mogelijk rekening gehouden werd met het Handboek Risicoberekeningen (zie bv. § 4.1.1) en met de resultaten van de TWOL *Vlaamse selectiemethode* (zie bv. § 4.1.2 en 4.1.3).

Er dient bijkomend opgemerkt te worden dat de voorgestelde werkwijze aanzien dient te worden als een mogelijk vertrekpunt van de discussie die tot doel heeft te komen tot een definitieve werkwijze en niet zo zeer als de door de auteurs van dit rapport verkozen werkwijze.

4.1.1 Relevante richtlijnen voor het uitvoeren van een QRA

Als leidraad om rekening te houden met mogelijke nalevering bij procesinstallaties en om de lekken te modelleren in het geval de installatie een niet-homogene inhoud heeft wordt uitgegaan van de werkwijzen die voorgesteld zijn in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving (2019))*, m.n. in respectievelijk § 15.2.4 en § 15.6.

4.1.2 Afbakening insluitsystemen

Zowel de Nederlandse subselectiemethode als de Vlaamse selectiemethode vertrekken van het begrip insluitsysteem. Insluitsystemen zijn (groepen van) installatie-onderdelen die gekenmerkt worden door de eigenschap dat een (incidentele) vrijzetting van gevaarlijke stoffen vanuit dergelijk systeem geen aanleiding geeft tot het vrijkomen van significante hoeveelheden⁸¹ gevaarlijke stoffen vanuit een ander insluitsysteem.

⁸¹ Onder "significant" wordt verstaan, belangrijk t.o.v. de hoeveelheid die vanuit het eerste insluitsysteem kan vrijkomen.

Bij de afbakening van insluitsystemen dienen enkele belangrijke basisprincipes in acht genomen te worden (cf. TWOL *Vlaamse selectiemethode*):

1. De afbakening van het insluitsysteem in het kader van de selectie dient afgestemd te zijn op de manier waarop in een later stadium evt. de QRA wordt uitgevoerd. Dit houdt o.a. in dat de stoffen, hoeveelheden, omstandigheden, ... die in de QRA worden beschouwd, overeenstemmen met de gegevens waarop de selectie gebaseerd is.
2. Insluitsystemen mogen niet dermate groot gekozen worden dat andere insluitsystemen onterecht van de QRA worden uitgesloten.

Dit impliceert o.a. dat de representatieve stoffen die in de QRA gebruikt worden dienen overeen te komen met deze die in de selectie gebruikt werden. Bovendien dient de massa aanwezig in een insluitsysteem quasi volledig vrij te komen bij catastrofaal falen van een installatie uit het insluitsysteem. Zo niet, ontstaat er een wanverhouding tussen de massa waarvan uitgegaan wordt in de selectiemethode en deze waarvan uitgegaan wordt in de QRA.

Teneinde een efficiënte selectie te bewerkstelligen kan evenwel afgeweken worden van de strikte definitie van een insluitsysteem door in eerste instantie insluitsystemen zo ruim mogelijk af te bakenen en voor deze systemen na te gaan of een selectie ervan voor de QRA al dan niet noodzakelijk is. Op het ogenblik dat een dergelijk insluitsysteem geselecteerd is, dient het verder opgesplitst te worden in verschillende, kleinere insluitsystemen omwille van de hoger vermelde redenen.

4.1.3 Afstemming tussen selectie en QRA

De keuze van een representatieve stof hangt o.a. af van de faalwijzen die beschouwd worden en van de wijze waarop de effecten en de frequenties van de vervolgsценario's berekend worden.

Bij het uitwerken van een methode voor het bepalen van een representatieve stof voor installaties met een niet-homogene inhoud en bij uitbreiding voor insluitsystemen bestaande uit meerdere installaties is gepoogd om een zo goed mogelijke afstemming te bekomen tussen de QRA en de selectie van de voor het externe mensrisico relevante insluitsystemen. Aangezien de selectie gebeurt op het niveau van de insluitsystemen, dient in de QRA de bepaling van de effecten en de frequenties van de verschillende vervolgsценario's bij voorkeur eveneens te gebeuren op dit niveau.

De idee is om faalwijzen te definiëren en te bestuderen voor een insluitsysteem, eerder dan voor de afzonderlijke installaties. Op die manier worden er scenario's in rekening gebracht waarin de vrijgezette massa deze van de afzonderlijke installaties overstijgt (met andere woorden er wordt impliciet rekening gehouden met een mogelijke nalevering).

Als kanttekening dient hier evenwel vermeld te worden dat de selectie gebaseerd is op het catastrofaal falen van het insluitsysteem (waarin (quasi) de volledige massa van het insluitsysteem op korte tijd vrijkomt). Bijgevolg kunnen de (kleinere) lekscenario's wel bestudeerd worden op het niveau van de afzonderlijke installaties zonder afbreuk te doen aan de goede afstemming tussen de QRA en de selectie. Teneinde het aantal lekscenario's te beperken kan echter gekozen worden voor lekscenario's op het niveau van het insluitsysteem.

Aangezien de selectie wordt gemaakt per vervolgscenario is het bovendien mogelijk om naast faalwijzen op het niveau van het insluitsysteem voor bepaalde vervolgscenario's faalwijzen op het niveau van de afzonderlijke installaties te beschouwen. Hierbij wordt gedacht aan de scenario's fysische explosie/BLEVE en vuurbal.

Een mogelijke concrete invulling van het hoger vermelde idee bestaat erin om de volgende faalwijzen te beschouwen op het niveau van het insluitsysteem:

- instantane vrijzetting van de volledige massa;
- volledige uitstroom in 10 minuten;
- (mogelijk) groot lek (diameter grootste aansluiting);
- (mogelijk) middelgroot lek (25 mm);
- (mogelijk) klein lek (10 mm).

Voor elk van de faalwijzen van de afzonderlijke installaties dient nagegaan te worden of deze faalwijze leidt tot één van de hoger beschouwde faalwijzen van het insluitsysteem.

Een belangrijke kanttekening die hier vermeld dient te worden, is dat de TWOL *Vlaamse Selectiemethode* geen volledig uitgewerkt antwoord biedt op de vraag hoe de frequentie bepaald dient te worden horende bij de faalwijzen op het niveau van het insluitsysteem. In het eindrapport wordt immers verbatim het volgende gesteld: "Voor complexe insluitsystemen, bv. (delen van) procesinstallaties wordt vertrokken van een basisfaalfrequentie die 10 keer hoger ligt dan die van een procesdruktank. Deze vormt een eerste, ruwe schatting op basis van Lees (2005). Wanneer dergelijk insluitsysteem voor de QRA geselecteerd wordt, zal vaak een meer gedetailleerd scenario-onderzoek moeten gebeuren dat teruggekoppeld dient te worden naar de selectie."

In § 4.2.3 wordt aan de hand van een voorbeeld een mogelijke methode uitgewerkt om de frequentie horende bij een faalwijze op het niveau van het insluitsysteem in te schatten. Deze methode kan aanzien worden als een mogelijke werkwijze voor het uitvoeren van een gedetailleerd scenario-onderzoek.

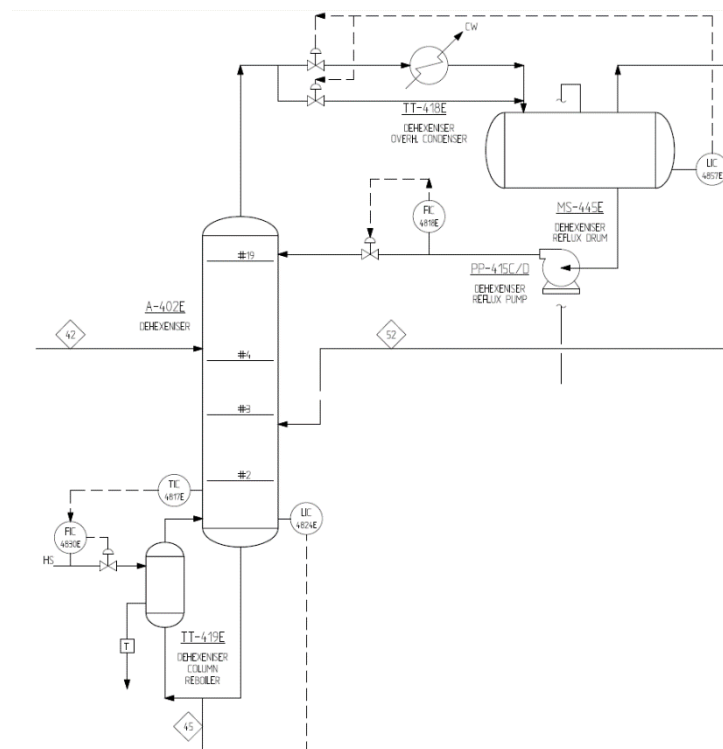
4.2 DESTILLATIESECTIES

Daar waar opslaginstallaties doorgaans een homogene inhoud hebben, geldt voor procesinstallaties dat deze doorgaans een niet-homogene inhoud hebben. Destillatiekolommen zijn een typisch voorbeeld: de topsectie bevat een grotere fractie van de vluchtige component(en) dan de bodemsectie. Bovendien heerst er een temperatuurprofiel over de hoogte van een kolom. Dit maakt dat het zo goed als onmogelijk is om de effecten van een emissie uit een destillatiekolom exact te berekenen. Bijgevolg worden in de praktijk vereenvoudigende aannames gemaakt die een kwantitatieve risicoanalyse mogelijk maken.

4.2.1 Literatuurstudie

4.2.1.1 OVR/13/02 Total Petrochemicals Antwerpen

In de dehexeniser A-402E wordt al het hexeen en hexaan verwijderd en dit verlaat als bodemproduct de kolom. Het bodemproduct bevat nog 15 tot 30 % isobutaan. Het topproduct wordt gekoeld naar 74°C in de dehexeniser *overhead condenser* TT-418E waarna het condensaat wordt verzameld in de *reflux drum* MS-445E. Pomp PP-415C/D pompt de reflux naar de bovenste trap van de kolom (zie figuur 4.2.1.1.1).



Figuur 4.2.1.1.1 Processchema dehexeniser A-402E (OVR/13/02)

Voor elk van de installaties wordt de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.2.1.1.1). Voor de destillatiekolom wordt slechts één temperatuur vermeld.

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom A402E	isobutaan ethyleen hexeen	vloeistof/gas	40	4.700	83	14
reboiler TT419E	isobutaan hexeen	vloeistof/gas	< 1	-	140	14
overhead condensor TT418E	isobutaan ethyleen	vloeistof/gas	< 1	-	50 – 80	14
reflux drum MS445E	isobutaan ethyleen	vloeistof/gas	11,7	5.700	40	14,5
refluxpompen PP415C/D	isobutaan ethyleen	vloeistof	83 m ³ /h (debiet)	-	55	17

Tabel 4.2.1.1.1 Beschrijving installaties dehexeniser A-402E (OVR/13/02)

In de selectietabel wordt een onderscheid gemaakt tussen het bodemproduct en het topproduct. Als representatieve stof wordt isobutaan voor beide gebruikt (zie tabel 4.2.1.1.2).

Installatie	Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
A402E + TT419E	isobutaan	Isobutaan	-	4.700	83	14
	ethyleen					
	hexeen					
MS445E + TT418E + PP415C/D	isobutaan	isobutaan	-	5.700	40	14,5
	ethyleen					

Tabel 4.2.1.1.2 Selectietabel dehexeniser A-402E (OVR/13/02)

In de QRA worden de effectberekeningen uitgevoerd voor de afzonderlijke installaties. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen de bodemsectie en de topsectie van de kolom en worden de lekfrequenties verdeeld (50/50) over deze secties. Voor alle (deel)installaties wordt isobutaan als representatieve stof gebruikt. De representatieve temperatuur en druk lijken de (gemiddelde) proces temperatuur en -druk te zijn (zie tabel 4.2.1.1.3).

Bij de berekening van de faalwijzen breuk en uitstroom in 10 minuten wordt enkel de inhoud van de installatie in rekening genomen. Er wordt geen rekening gehouden met het procesdebiet, aangezien dit als ondergeschikt wordt verondersteld aan het lekdebiet. Bij de berekening van de lekken wordt bij procesinstallaties met beperkte inhoud (< 1.000 kg) wel rekening gehouden met het procesdebiet.

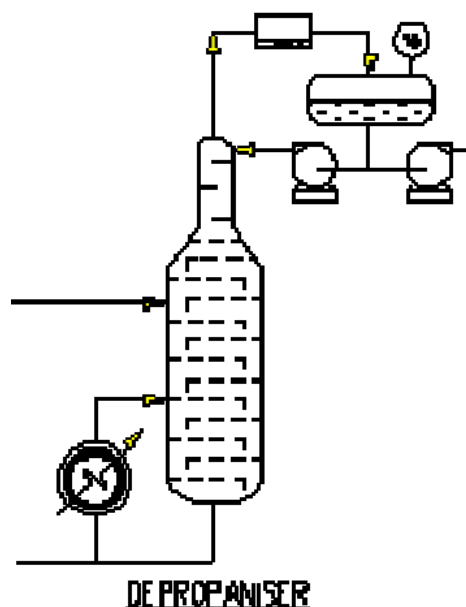
Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p* (baro)
destillatiekolom A402E (top)	isobutaan ethyleen hexeen	vloeistof /gas		14	procesdruktank	isobutaan	gas	83	14 (13,3)
destillatiekolom A402E (bodem)	isobutaan (ethyleen) hexeen	vloeistof /gas		14	procesdruktank	isobutaan	vloeistof	80	14 (12,4)
reboiler TT419E	isobutaan hexeen	vloeistof /gas	140	14	warmtewisselaar	isobutaan	gas	140	14 (-)
overhead condensor TT418E	isobutaan ethyleen	vloeistof /gas	50 – 80	14	warmtewisselaar	isobutaan	vloeistof	65	14 (9,7)
reflux drum MS445E	isobutaan ethyleen	vloeistof /gas	40	14,5	procesdruktank	isobutaan	vloeistof	40	14,5 (5,3)
refluxpompen PP415C/D	isobutaan ethyleen	vloeistof	55	17	Centrifugale pomp	isobutaan	vloeistof	55	17 (7,7)

* Tussen haakjes wordt de verzadigingsdruk van de representatieve stof vermeld horende bij de representatieve temperatuur.

Tabel 4.2.1.1.3 Effectberekeningen installaties dehexeniser A-402E (OVR/13/02)

4.2.1.2 OVR/13/03 Total Raffinaderij Antwerpen

ETBE (Ethyl Tertiaire Butyl Ether) wordt gevormd uit de katalytische reactie van ethanol en isobuteen. Het isobuteen is een bestanddeel van de lichte kraakfractie afkomstig van de FCC-eenheden en van de nafta kraakinstallaties. De C3/C4 uit de FCC-eenheden wordt eerst in de depropaniser gesplitst (zie figuur 4.2.1.2.1).



Figuur 4.2.1.2.1 Processchema depropaniser E3602 (OVR/13/03)

Voor elk van de installaties wordt de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.2.1.2.1). Voor de destillatiekolom wordt slechts één temperatuur vermeld.

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom E3602	C3/C4	vloeistof/gas	176,3	21.426	106	18,2
reboiler C3604	(C3)/C4	vloeistof/gas	0,6	300	102	17,7
reflux drum F3604	C3/(C4)	vloeistof/gas	41,3	20.650	40	16,2

Tabel 4.2.1.2.1 Beschrijving installaties depropaniser E3602 (OVR/13/03)

In de selectietabel wordt een onderscheid gemaakt tussen de vloeistoffase en de dampfase, wat leidt tot twee insluitsystemen m.n. SS2L bestaande uit de reboiler, de reflux drum en de bodemfractie van de kolom en SS2G bestaande uit de topfractie van de kolom (zie tabel 4.2.1.2.2). Per deelinsluitsysteem is een keuze gemaakt welke proces-condities (product, druk en temperatuur) gebruikt worden in de selectietabel. In de meeste gevallen zijn de strengste condities behouden. Hiervan is enkel afgeweken wanneer in het deelinsluitsysteem een installatie aanwezig is, waarvan de massa aanzienlijk groter is dan de massa aanwezig in de andere installaties. In dat geval zijn de condities van deze installatie weerhouden. De massa is in de selectietabel arbitrair verhoogd met een factor 1,1 om rekening te houden met mogelijke nalevering.

Installatie		Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
SS2G	E3602	C3/C4	propyleen	176,3	3.796 *1,1	106	18,2
SS2L	E3602	C3/C4	buteen	176,3	17.630 *1,1	106	18,2
	C3604	(C3)/C4	buteen	0,6	300 *1,1	102	17,7
	F3604	C3/(C4)	propyleen	41,3	20.650 *1,1	40	16,2
	totaal	C3/C4	buteen	-	38.580 *1,1	106	18,2

Tabel 4.2.1.2.2 Selectietabel depropaniser E3602 (OVR/13/03)

In de QRA worden de effectberekeningen uitgevoerd voor de afzonderlijke installaties. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen de bodemsectie en de topsectie van de kolom en worden de lekfrequenties verdeeld over deze secties op basis van de vullingsgraad van de kolom. Voor de topsectie van de kolom en de reflux drum wordt propyleen gebruikt als representatieve stof, terwijl voor de bodemsectie en de reboiler buteen gebruikt wordt (zie tabel 4.2.1.2.3). *De representatieve temperatuur en druk worden niet vermeld in het rapport.*

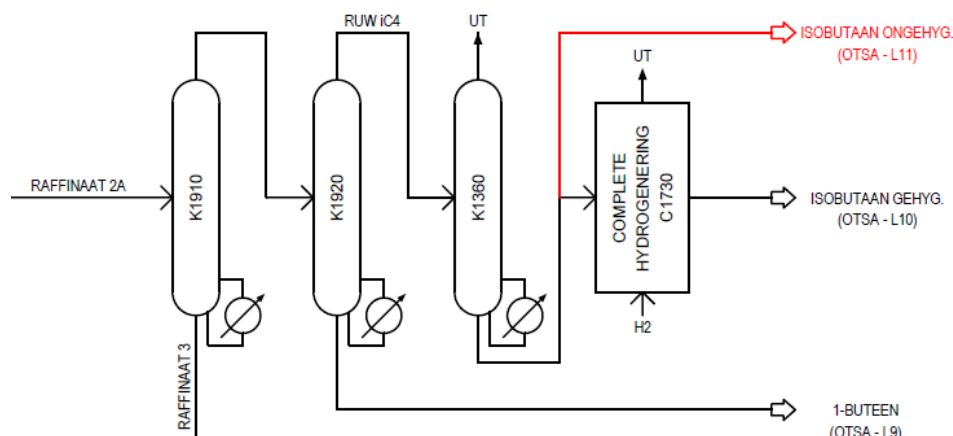
Het vrijzettingsdebiet voor warmtewisselaars en kleinere procesvaten (doorstroom-installaties) wordt beperkt tot het doorstroomdebiet. Catastrofaal falen van dergelijke installaties met een beperkte massa-inhoud wordt tevens gemodelleerd als een vrijzetting gelijk aan het doorstroomdebiet. De uitstroomduur wordt voor alle scenario's van deze installaties conservatief gelijk gesteld aan 1800 s.

Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)
E3602 (gas)	C3/C4	vloeistof/ gas	106	18,2	proces- druktank	propyleen	gas		
E3602 (vloeistof)	C3/C4	vloeistof/ gas	106	18,2	proces- druktank	buteen	vloeistof/ gas		
C3604	C3/C4	vloeistof/ gas	102	17,7	warmte- wisselaar	buteen	vloeistof/ gas		
F3604	C3/C4	vloeistof/ gas	40	16,2	proces- druktank	propyleen	vloeistof/ gas		

Tabel 4.2.1.2.3 Effectberekeningen installaties depropaniser E3602 (OVR/13/03)

4.2.1.3 OVR/13/15 Evonik Degussa Antwerpen

Het Raffinaat 2A (een mengsel van C4-koolwaterstoffen zonder 1,3-butadiëen) wordt door destillatie gescheiden. Dit gebeurt in 3 in serie geschakelde kolommen. In de eerste kolom wordt een buteenrijke bodemstroom (Raffinaat 3) afgescheiden die naar de oligomerisatie gestuurd wordt. De kopstroom van de eerste kolom wordt in de tweede kolom verder gescheiden. Als bodemproduct van de tweede kolom wordt 1-buteen verkregen dat via een bovengrondse leiding naar het belendende OTSA gepompt wordt. De kopstroom van de tweede kolom bestaat vooral uit isobutaan. In de derde kolom wordt het ruwe isobutaan verder gescheiden (zie figuur 4.2.1.3.1).



Figuur 4.2.1.3.1 Processchema destillatie isobutaan (OVR/13/15)

In de selectietabel (die tevens dienst doet als overzicht van de installaties met gevaarlijke stoffen) worden drie insluitsystemen beschouwd, telkens bestaande uit een kolom en de bijhorende reflux drum (zie tabel 4.2.1.3.1). *Voor de insluitsystemen wordt een temperatuur- en drukbereik gegeven.*

Installatie	Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
K1910, B1912	C4	isobutaan		104.995	70/80	9/16
K1920, B1922	C4	isobutaan		102.830	40/60	5/7
K1360, B1362	C4	isobutaan		34.104	50/70	7/11

Tabel 4.2.1.3.2 Selectietabel destillatie isobutaan (OVR/13/15)

Om de QRA [voor de eerste twee destillatiesecties⁸²] te vereenvoudigen, werd voor de effectberekeningen enkel uitgegaan van de sectie met de grootste risico's, nl. deze met kolom K1910 (afscheiding Raffinaat 3). Deze vereenvoudiging is mede mogelijk omdat beide secties zich nagenoeg op dezelfde locatie bevinden. De gevaarlijke stoffen die in deze sectie aanwezig zijn, bevinden zich in hoofdzaak in de destillatiekolom K1910 en de daarbij horende reflux drum B1912. Voor de effectberekeningen is uitgegaan van de veronderstelling dat de totale inhoud zich in één installatie bevindt. In de praktijk leidt dit tot een overschatting van de effecten. In de betrokken installaties bevinden zich in hoofdzaak C4-en. Voor de berekeningen werd uitgegaan van isobutaan, één van de laagst kokende C4-en (zie tabel 4.2.1.3.3). *De representatieve temperatuur en druk worden niet vermeld in het rapport.*

⁸² De derde destillatiesectie is niet geselecteerd.

Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)
destillatie-kolom K1910		vloeistof/gas	70/80	9/16	proces-druktank	isobutaan	vloeistof/gas		
reflux drum B1912		vloeistof/gas	70/80	9/16	opslag-druktank				

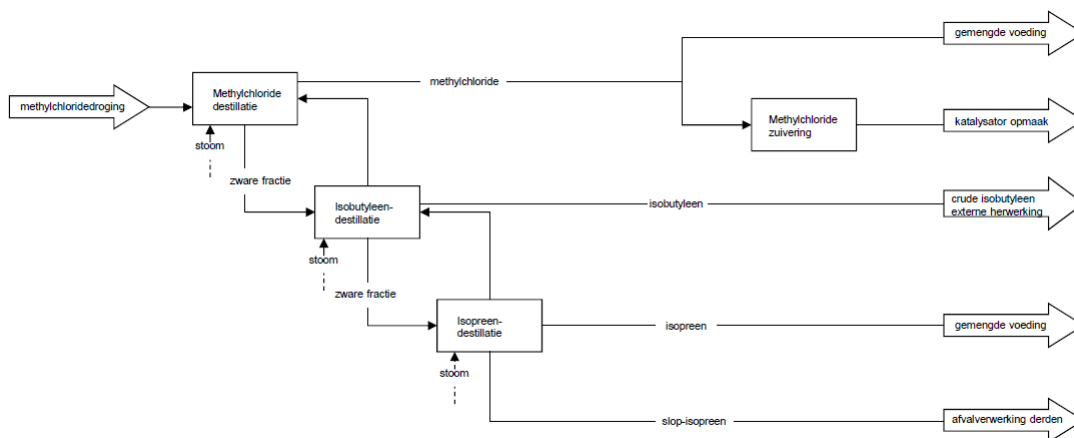
Tabel 4.2.1.3.3 Effectberekeningen installaties destillatie isobutaan (OVR/13/15)

Voor de faalfrequenties werden de waarden voor procesdruktanks gebruikt. Een correctiefactor van 2,2 werd daarop toegepast. Deze factor kwam als volgt tot stand:

- ❑ Voor K1910 wordt een factor 1,1 toegepast om rekening te houden met de aanwezigheid van de reflux drum B1912 dat bij deze kolom hoort. Het refluxvat is te aanzien als een opslagdruktank. De faalfrequenties van dergelijke druktanks zijn 10 maal kleiner dan die van procesdruktanks.
- ❑ De factor van 1,1 wordt verdubbeld om de aanwezigheid van kolom K1920 (met reflux drum B1922) in rekening te brengen.

4.2.1.4 OVR/13/27 Lanxess Rubber

De droge samengedrukte (recyclage)gassen worden in destillatietoren T2 met reflux drum D7 gescheiden in methylchloride met een rest isobutyleen als topproduct en isobutyleen en isopreen als bodemproduct (zie figuur 4.2.1.4.1).



Figuur 4.2.1.4.1 Processchema zuivering methylchloride (OVR/13/27)

Voor een gedetailleerd beeld van de installaties, de hoeveelheden gevaarlijke stoffen, hun samenstelling en de omstandigheden waaronder de gevaarlijke stoffen in de installaties aanwezig zijn, wordt verwezen naar de selectietabel (zie tabel 4.2.1.4.1). *Het is onduidelijk wat de functie is van installatie D202. Voor het insluitsysteem wordt een maximale temperatuur en druk gegeven.*

Installatie	Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (bar)
destillatiekolom T2, reflux drum D7, ??? D202	methylchloride	methylchloride	220	< 60.300	< 75	< 9,0
	isobutyleen	isobutyleen		< 3.200		
	isopreen	isopreen		< 100		

Tabel 4.2.1.4.1 Selectietabel zuivering methylchloride (OVR/13/27)

Voor de combinatie T2/D7/D202 wordt in de QRA voor de scenario's van instantane vrijzetting gerekend met de inhoud van elk deel van de combinatie apart (resp. 22, 18 en 24 ton)^{83,84}. Voor de scenario's van continue vrijzetting wordt voor elk van de drie onderdelen van de combinatie telkens gerekend met de totale inhoud van de combinatie. *De representatieve stof en de bijhorende representatieve temperatuur en druk worden niet vermeld in het rapport (zie tabel 4.2.1.4.2).*

Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	
destillatiekolom T2	methylchloride	vloeistof/ gas	< 75	< 9,0	procesdruktank				
	isobutyleen								
	isopreen								
reflux drum D7	methylchloride	vloeistof/ gas	< 75	< 9,0	procesdruktank				
	isobutyleen								
??? D202	methylchloride	vloeistof/ gas	< 75	< 9,0	procesdruktank				
	isobutyleen								
	isopreen								

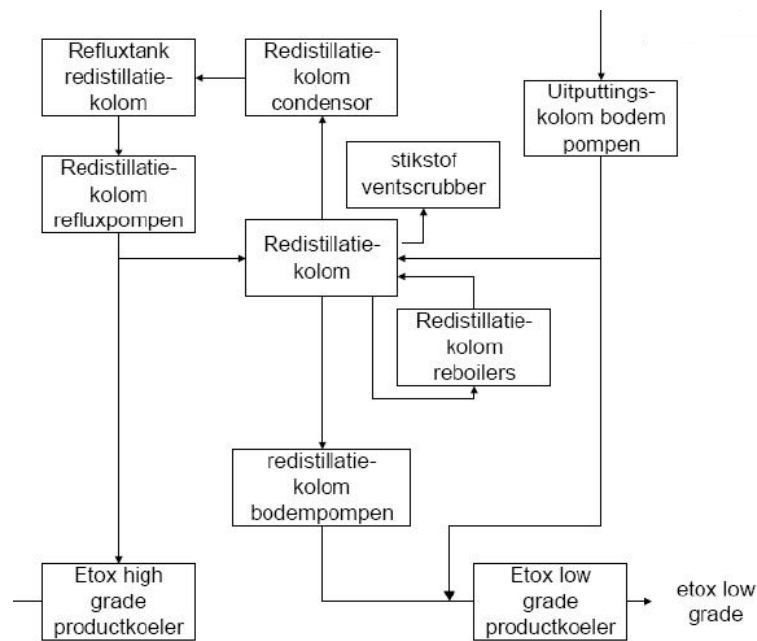
Tabel 4.2.1.4.2 Effectberekeningen installaties zuivering methylchloride (OVR/13/27)

4.2.1.5 OVR/13/33 Ineos Zwijndrecht

De *low grade* ethyleenoxide kan verder gezuiverd worden tot *high grade* in de redestillatiekolom. Deze kolom is ontworpen om de aanwezige aldehydes in de *low grade* ethyleenoxide te scheiden. Formaldehyde verlaat de kolom in het topproduct, terwijl de acetaldehyde de kolom verlaat met het bodemproduct. Het topproduct voldoet aan de kwaliteitsvereisten voor *high grade* ethyleenoxide (zie figuur 4.2.1.5.1).

⁸³ In de selectietabel worden de massa's vermeld per stof, terwijl in de scenariotabel deze worden vermeld per installatie. De afzonderlijke massa's komen bijgevolg niet overeen; de som van de massa's daarentegen wel.

⁸⁴ In de marge wordt opgemerkt dat voor deze drie installaties de effectafstand van de vuurbal kleiner is dan deze van de BLEVE.



Figuur 4.2.1.5.1 Processchema redistillatiekolom zuiveringssectie ethyleenoxide-eenheid (OVR/13/33)

Voor enkele installaties wordt de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.2.1.5.1). Voor de destillatiekolom wordt slechts één temperatuur vermeld.

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom E208	ethyleenoxide	vloeistof/gas	130	8.500	55	3,6 – 4
reboiler E209	ethyleenoxide	vloeistof/gas	3			
overhead condensor E211	ethyleenoxide	vloeistof/gas	3		35	
overhead condensor E223	ethyleenoxide	gas (sic)	1,3		35	
reflux drum E212	ethyleenoxide	vloeistof/gas	3	2.000	35	
refluxpomp E213	ethyleenoxide	vloeistof				

Tabel 4.2.1.5.1 Beschrijving installaties redistillatiekolom zuiveringssectie ethyleenoxide-eenheid (OVR/13/33)

In de QRA worden de effectberekeningen uitgevoerd voor het insluitsysteem in zijn geheel. Hierbij wordt ethyleenoxide als representatieve stof gebruikt. De bepaling van de procescondities van een insluitsysteem gebeurt op basis van de procescondities van de samenstellende onderdelen: de representatieve temperatuur en druk bedragen 60°C en 3,8 baro (zie tabel 4.2.1.5.2).

Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)		Stof	Fase	T (°C)	p (baro)
destillatie-kolom E208	ethyleen-oxide	vloeistof/gas	55	3,6 – 4	proces-druktank	ethyleen-oxide	vloeistof/gas	ca. 60	ca. 3,8 (4,2 @ 60°C)
reboiler E209	ethyleen-oxide	vloeistof/gas							
reflux drum E212	ethyleen-oxide	vloeistof/gas	35						

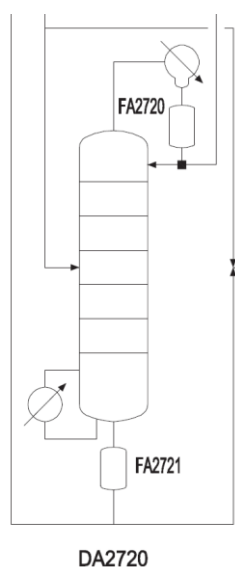
Tabel 4.2.1.5.2 Effectberekeningen installaties redestillatiekolom zuiveringssectie ethyleenoxide-eenheid (OVR/13/33)

De faalfrequentie voor breuk⁸⁵ van het insluitsysteem wordt gelijkgesteld aan de som van de faalfrequenties voor de faalwijzen breuk en uitstroom in 10 minuten van de destillatiekolom, de reflux drum en de reboiler en bedraagt $1,9 \cdot 10^{-5}/j$.

4.2.1.6 OVR/13/50 Borealis Polymers

Bij de productie van terpolymeer (10% van de tijd) bevat de gasstroom uit de propyleenrecirculatie niet alleen propyleen en propaan, maar ook niet gereageerd 1-buteen. Dit 1-buteen wordt gerecupereerd in een C3/C4-splitter (DA2720) die voor de propyleen/propaan-splitter (DA2705) geschakeld wordt (zie figuur 4.2.1.6.1).

In de selectietabel (die tevens dienst doet als overzicht van de installaties met gevaarlijke stoffen) wordt een insluitsysteem beschouwd bestaande uit de kolom en de bijhorende reflux drum (zie tabel 4.2.1.6.1). Voor het insluitsysteem wordt een maximale temperatuur en een druk gegeven.



Figuur 4.2.1.6.1 Processchema C3/C4 splitter (OVR/13/50)

⁸⁵ Breuk is de enige faalwijze met externe effecten.

Installatie	Stof	Representatieve stof	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom DA2720, reflux drum FA2705, bodemafscheider FA2721	C3/C4	propyleen	-	6.250	< 45	13

Tabel 4.2.1.6.1 Selectietabel C3/C4 splitter (OVR/13/50)

De gevaarlijke stoffen die in de betreffende sectie aanwezig zijn, bevinden zich in hoofdzaak in de destillatiekolom (DA2720) en de daarbij horende reflux drum (FA2705) en de bodemafscheider (FA2721). Bij de modellering van mogelijke emissies wordt aangenomen dat de volledige hoeveelheid zich in één installatie bevindt wat doorgaans aanleiding geeft tot een overschatting van de effecten van mogelijke vervolgsce­nario's. Gelet op de beperkte productie van terpolymeer (10% van de tijd) en het feit dat het monomerenmengsel hoofdzakelijk uit propyleen bestaat, wordt bij de modellering uitgegaan van zuiver propyleen (zie tabel 4.2.1.6.2).

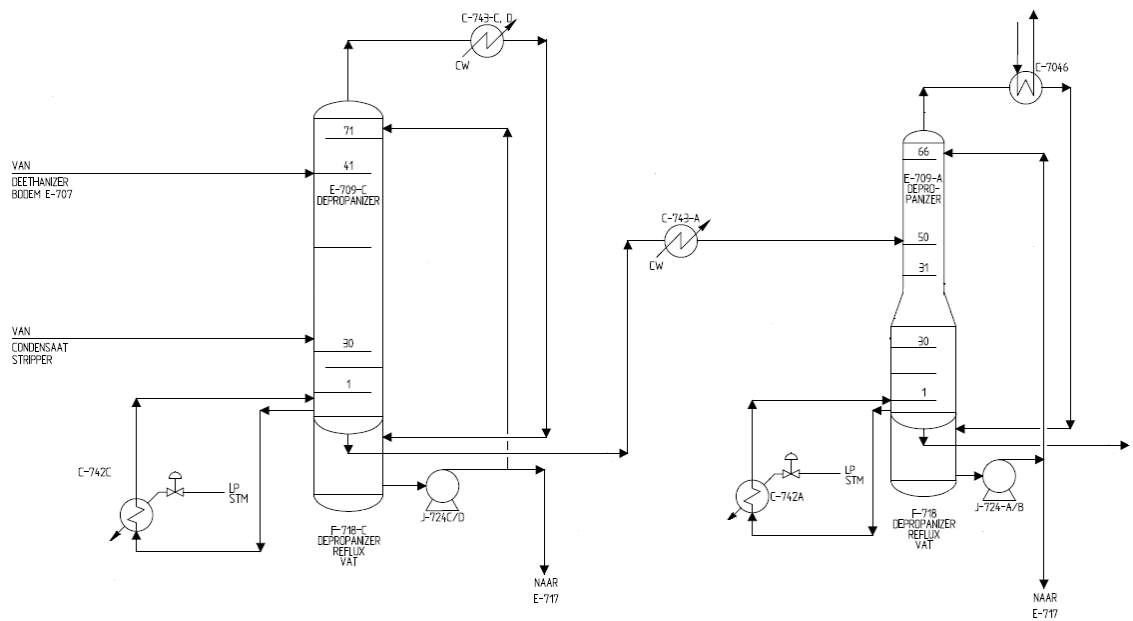
Werkelijke stoffen en condities					Representatieve stoffen en condities				
Installatie	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	Stof	Fase	T (°C)	p (baro)	
DA2704, FA2705, DA2703	propyleen propan 1-buteen	vloeistof/ gas	< 45	13	proces- druktank	propyleen	vloeistof/ gas	35 13 (13,8)	

Tabel 4.2.1.6.2 Effectberekeningen installaties C3/C4 splitter (OVR/13/50)

De faalfrequentie van het insluitsysteem (bestaande uit drie installaties) wordt gelijkgesteld aan drie keer de faalfrequentie van een afzonderlijke installatie (aanzien als procesdruktank).

4.2.1.7 OVR/14/09 Total Olefins Antwerp (site A)

Het bodemproduct van de deëthaniser E-707, dat propyleen en zwaardere componenten bevat, en het bodemproduct van de condensaatstripper E-704 worden gevoed in de depropaniser (sectie) bestaande uit twee kolommen. De eerste kolom E-709C van deze sectie werkt bij hoge druk, terwijl de tweede kolom E-709A, die de finale scheiding doet, werkt bij lage druk. De topproducten van de kolommen worden in de MAPD-toren E-717 verder gesplitst in propyleen als topproduct en een rijk mengsel aan methylacetyleen en propadiëen als bodemproduct. Het bodemproduct van de depropaniser wordt in de debutaniser E-710 verder gescheiden in een C4-mengsel als topproduct, en kraakbenzine als bodemproduct (zie figuur 4.2.1.7.1).



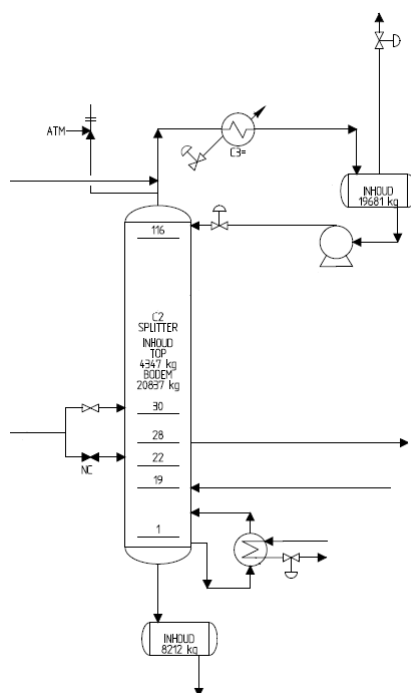
Figuur 4.2.1.7.1 Processchema depropanisersectie (OVR/14/09)

In de selectietabel (die tevens dienst doet als overzicht van de installaties met gevaarlijke stoffen) worden voor elk van de installaties de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.2.1.7.1). Voor de destillatiekolom worden waarden gegeven voor de top- en de bodemsectie. Voor de selectie wordt de kolom evenwel in zijn geheel beschouwd.

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom E709C (top)	C3/C4	vloeistof/gas	-	3.872	35,6	12,0
destillatiekolom E709C (bodem)	C3/C4	vloeistof/gas	-	7.118	88,5	12,0
reboiler C742C	(C3)/C4	vloeistof/gas	-	1.162	109,0	17,2
overhead condensor C743C/D	C3/(C4)	vloeistof/gas	-	1.186	35,0	13,6
reflux drum F718C	C3/(C4)	vloeistof	-	4.735	35,6	13,6

Tabel 4.2.1.7.1 Beschrijving installaties depropaniser (OVR/14/09)

In de QRA worden de effectberekeningen uitgevoerd voor de afzonderlijke installaties. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen de bodemsectie en de topsectie van de kolom en worden de lekfrequenties verdeeld (50/50) over deze secties. (zie tabel 4.2.1.7.2). De representatieve temperatuur is de procestemperatuur, terwijl de representatieve druk de verzadigingsdruk is horende bij de procestemperatuur.



Figuur 4.2.2.1.1 Processchema C2-splitter

Als voorbeeld wordt een destillatiesectie (inluitsysteem) beschouwd bestaande uit een destillatiekolom (i.c. een C₂-splitter), een reboiler, een condensor, een reflux drum en een buffertank. In onderstaande tabel worden voor elk van deze installaties de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie ook figuur 4.2.2.1.1).

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom (top)	ethyleen/(ethaan)	(vloeistof)/gas	4.347	-31,5	19,1
destillatiekolom (bodem)	(ethyleen)/ethaan	vloeistof/(gas)	20.837	-5,1	19,8
reboiler (mantel)	(ethyleen)/ethaan	vloeistof/gas	1.302	-3,2	21,2
overhead condensor (pijpen)	ethyleen/(ethaan)	vloeistof/gas	1.541	-31,5	19,1
reflux drum	ethyleen/(ethaan)	vloeistof/(gas)	19.681	-31,5	19,1
buffertank	(ethyleen)/ethaan	vloeistof	8.212	-5,8	19,8

Tabel 4.2.2.1.1 Afzonderlijke installaties C2-splitter

Uit deze tabel blijkt dat er zich ruwweg twee combinaties van procescondities (temperatuur en druk) voordoen. Aldus kunnen de installaties toegekend worden aan de top- en de bodemsectie op basis van de procescondities.

Een tweede vraag die zich stelt is welke representatieve stof en bijhorende druk en temperatuur voor de beide secties gekozen worden.

Voor de druk en de temperatuur kunnen de condities in de top- en de bodemsectie van de kolom als uitgangspunt genomen worden. Dit leidt tot onderstaande tabel.

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom (top)	ethyleen/(ethaan)	(vloeistof)/gas	4.347	-31,5	19,1
overhead condensor (pijpen)		vloeistof/gas	1.541		
reflux drum		vloeistof/(gas)	19.681		
destillatiekolom (bodem)	ethaan/(ethyleen)	vloeistof/(gas)	20.837	-5,1	19,8
reboiler (mantel)		vloeistof/gas	1.302		
buffertank		vloeistof	8.212		

Tabel 4.2.2.1.2 Top- en bodemsectie C2-splitter

Bij de keuze van een representatieve stof in combinatie met een representatieve druk en temperatuur wordt best ook rekening gehouden met de werkelijke fasetoestand van het mengsel in de installatie. Indien in een installatie een evenwicht heerst tussen vloeistof en damp, kan een vergelijking tussen de werkelijke druk en de verzadigingsdruk van de representatieve stof bij de representatieve temperatuur inzicht bieden in de geschiktheid van de keuze voor een representatieve stof. Bijvoorbeeld,

- in een destillatiekolom heerst er (benaderend) een evenwicht tussen de damp- en de vloeistoffase⁸⁶;
- in het geval van een partiële condensatie in de overhead condensor heerst er (benaderend) een evenwicht tussen de damp- en de vloeistoffase in de condensor en de refluxdrum;
- in het geval van een volledige condensatie is in de refluxdrum onderkoelde vloeistof aanwezig.

Indien bijvoorbeeld voor (een sectie van) een kolom een representatieve stof gekozen wordt, kan

- als representatieve druk de werkelijke druk genomen worden en als representatieve temperatuur de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van de representatieve stof;
- als representatieve temperatuur de werkelijke temperatuur genomen worden en als representatieve druk de bij die temperatuur horende verzadigingstemperatuur van de representatieve stof.

Indien de representatieve stof en de representatieve druk en temperatuur onafhankelijk van elkaar gekozen worden terwijl deze in de praktijk niet onafhankelijk zijn, wijkt de gemodelleerde fasetoestand mogelijk af van de werkelijke fasetoestand. Dit kan leiden tot een verkeerde

⁸⁶ Dit geldt niet voor vacuümdestillatie en evenmin indien er niet-condenseerbare gassen aanwezig zijn in de dampfase.

inschatting van de mate waarin een stof bij een vrijzetting aanleiding geeft tot de vorming van een brandbare of toxische wolk (bv. wanneer een tweefasig mengsel gemodelleerd wordt als een gas).

In het voorbeeld is deze keuze voor een representatieve stof voor beide secties voor de hand liggend, aangezien het een C₂-splitter betreft waarin ethyleen en ethaan van elkaar gescheiden worden. De onderstaande tabel geeft de representatieve stoffen en de bijhorende representatieve temperatuur en druk. Hierbij is er gekozen om als representatieve druk de werkelijke druk te nemen en als representatieve temperatuur de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van de representatieve stof. In de C₂-splitter heerst er immers (benaderend) een evenwicht tussen de damp- en de vloeistoffase.

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
destillatiekolom (top)	ethyleen	(vloeistof)/gas	4.347	-28,6	19,1
overhead condensor (pijpen)		vloeistof/gas	1.541		
reflux drum		vloeistof/(gas)	19.681		
destillatiekolom (bodem)	ethaan	vloeistof/(gas)	20.837	-5,6	19,8
reboiler (mantel)		vloeistof/gas	1.302		
buffertank		vloeistof	8.212		

Tabel 4.2.2.1.3 Representatieve stoffen en procescondities top- en bodemsectie C2-splitter

Uit een vergelijking van de representatieve temperatuur en de werkelijke temperatuur blijkt verder dat de gekozen representatieve stoffen geschikt lijken voor de analyse. De representatieve temperatuur wijkt immers niet sterk af van de werkelijke temperatuur: voor de topsectie bedraagt het verschil 2,9°C en voor de bodemsectie 0,5°C. Indien bijvoorbeeld voor de topsectie ethaan als representatieve stof zou gekozen worden, wordt een representatieve temperatuur van -5,0°C gevonden met een afwijking van 26,5°C. Hieruit volgt dat ethyleen meer geschikt is als representatieve stof voor de topsectie dan ethaan. De achterliggende reden hiervoor is uiteraard dat de topsectie grotendeels ethyleen bevat.

Voor de effecten die gemodelleerd worden op het niveau van de afzonderlijke installaties (BLEVE, vuurbal en lekscenario's) zijn deze combinaties van representatieve stoffen en procescondities geschikt.

4.2.2.2 Volledige destillatiesectie

Voor de effecten die gemodelleerd worden op het niveau van het insluitsysteem (catastrofaal falen gevolgd door de vorming van een brandbare en/of toxische wolk) dient er een keuze gemaakt te worden voor de ene dan wel de andere representatieve stof (en bijhorende condities). Aangezien deze keuze reeds dient gemaakt te worden tijdens de selectie (i.e. zonder uitgebreide effectberekeningen), ligt het voor de hand hiervoor de resultaten van de TWOL *Vlaamse Selectiemethode* te gebruiken. Het eindrapport van deze studie stelt: "Bij de keuze van een representatieve stof en bijhorende condities kan men zich laten leiden door de schadefactoren die aan de verschillende onderdelen van het insluitsysteem verbonden zijn. Wanneer bv. verschillende onderdelen een schadefactor voor "wolkbrand/VCE" hebben, kan men het onderdeel dat

gekenmerkt wordt door de grootste schadefactor als referentie gebruiken en de hoeveelheid zodanig kiezen dat de hoeveelheid in de wolk gelijk is aan de som van de hoeveelheden in de wolk afkomstig van alle desbetreffende onderdelen.” Deze werkwijze wordt getoond in onderstaande tabel. Het onderdeel met de grootste schadefactoren voor “VCE/wolkbrand” is de bodemsectie van de kolom met ethaan als representatieve stof. Bijgevolg wordt deze als representatief genomen voor de volledige destillatiesectie.

Insluitsysteem	Representatieve stof	Hoeveelheid [kg]	Massafractie	x [m]	y [m]	Freq. factoren				Inkuipig		Procestemperatuur [°C]	Procesdruk [bar]	Insteldruk overdrukventielen [bar]	Vluchtigheid		VCE/Wolkbrand				Vuurbal			
						Basisfrequentie [1/jr] [1/u] [1/m jr]	Aantal [] [] []	Gebruiksfactor [] [] []	Correctie [] [] []	Bodemtype	Plasoppervlakte [m²]				Vluchtigheidsfactor	Wolkinhoud [ton]	Schadefactoren				Schadefactoren			
																	1. 100 m 0 m	2. 200 m 0 m	3. 300 m 0 m	4. 400 m 0 m	1. 100 m 0 m	2. 200 m 0 m	3. 300 m 0 m	4. 400 m 0 m
C2 splitter										B	8	-31,5	19,1	-	100%	4,3	15%	2%	-	-	75%	-	-	-
kolom (top)	ETHYLENE	4347	1	0	0	DTP				B	8	-5,1	19,8	-	100%	20,8	100%	100%	100%	3%	100%	85%	19%	-
reboiler	ETHANE	1302	1	0	0	DTP				B	8	-3,2	21,2	-	100%	1,3	100%	1%	-	-	2%	-	-	-
condensor	ETHYLENE	1541	1	0	0	DTP				B	8	-31,5	19,1	-	100%	1,5	6%	-	-	-	4%	-	-	-
refluxdrum	ETHYLENE	19681	1	0	0	DTP				B	8	-31,5	19,1	-	100%	19,7	43%	9%	2%	-	100%	82%	15%	-
buffertank	ETHANE	8212	1	0	0	DTP				B	8	-5,8	19,8	-	100%	8,2	100%	100%	3%	-	96%	16%	-	-

Tabel 4.2.2.2.1 Representatieve stof en procescondities C2-splitter



4.2.2.3 Frequentie-analyse (voorbeeld)

In de onderstaande tabel worden de faalwijzen voor de verschillende installaties gekoppeld aan mogelijke faalwijzen voor het insluitsysteem. De vermelde faalwijzen en -frequenties zijn te aanzien als illustratief. Voor de destillatiesectie uit het voorbeeld zijn de faalwijzen voor het insluitsysteem:

- breuk destillatiekolom gevolgd door een BLEVE en/of vuurbal;
- breuk refluxtank gevolgd door een BLEVE en/of vuurbal;
- breuk buffertank gevolgd door een BLEVE en/of vuurbal;
- volledige uitstroming in 10 minuten⁸⁷;
- middelgroot lek (25 mm) topfractie;
- klein lek (10 mm) topfractie;
- middelgroot lek (25 mm) bodemfractie;
- klein lek (10 mm) bodemfractie.

Voor elk van de faalwijzen van de afzonderlijke installaties is nagegaan of deze aanleiding kan geven tot één of meerdere van de hoger beschouwde faalwijzen van het insluitsysteem. Bijvoorbeeld:

- breuk van de destillatiekolom kan leiden tot “volledige uitstroom in 10 minuten” en tot “breuk destillatiekolom gevolgd door een BLEVE en/of vuurbal”;
- breuk van de reboiler kan leiden tot “volledige uitstroom in 10 minuten”;
- middelgroot lek van de reboiler kan leiden tot “middelgroot lek (25 mm) bodemfractie.

De volgende vragen zijn gerezen bij het uitwerken van onderstaande tabel:

- Dient de reboiler aanzien te worden als een pijpenwarmtewisselaar of als een procesdruktank? Gelet op het grote verschil in faalfrequenties tussen beide installaties heeft het antwoord op deze vraag een significante impact op het risico.
- Leidt een lek in het bovenste deel van de kolom tot de vrijzetting van verzadigde vloeistof of enkel tot deze van verzadigde damp?
- Leidt een breuk van de mantel van de overhead condensor tot een vrijzetting van de stof die door de pijpen stroomt?

⁸⁷ De faalwijze groot lek (diameter grootste aansluiting) zou in dit voorbeeld leiden tot een volledige uitstroom in 10 minuten.

			7,6E-05	3,2E-06	3,2E-06	3,2E-06	3,2E-06	1,1E-05	1,2E-04	3,9E-03	6,1E-03
			UTM insluitsysteem	BR destillatiekolom	BR reflux drum	BR buffertank	ML topfractie	KL topfractie	ML bodemfractie	KL bodemfractie	
destillatiekolom	BR	3,2E-06	x	x							
	UTM	3,2E-06	x								
destillatiekolom (bodem)	GL	5,5E-06	x								
	ML	5,5E-06							x		
	KL	6,0E-05									x
reboiler (mantel)	BR	1,3E-05	x								
	GL	1,6E-05	x								
	ML	3,9E-03							x		
	KL	6,0E-03									x
buffertank	BR	3,2E-06	x			x					
	UTM	3,2E-06	x								
	GL	1,1E-05	x								
	ML	1,1E-05							x		
	KL	1,2E-04									x
destillatiekolom (top)	GL	5,5E-06									
	ML	5,5E-06									
	KL	6,0E-05									
condensor (pijpen)	BR	1,3E-05									
reflux drum	BR	3,2E-06	x		x						
	UTM	3,2E-06	x								
	GL	1,1E-05	x								
	ML	1,1E-05					x				
	KL	1,2E-04						x			

Tabel 4.2.2.3.1 Koppeling faalwijzen installaties en insluitsysteem C2-splitter

4.2.2.4 Samenvatting

1. Op basis van de procescondities worden de installaties toegekend aan de top- of de bodemsectie.
2. Voor de representatieve druk en de temperatuur worden de condities in de top- en de bodemsectie van de kolom als uitgangspunt genomen.
3. Voor beide secties wordt een representatieve stof gekozen op basis van de in deze sectie aanwezige stoffen.

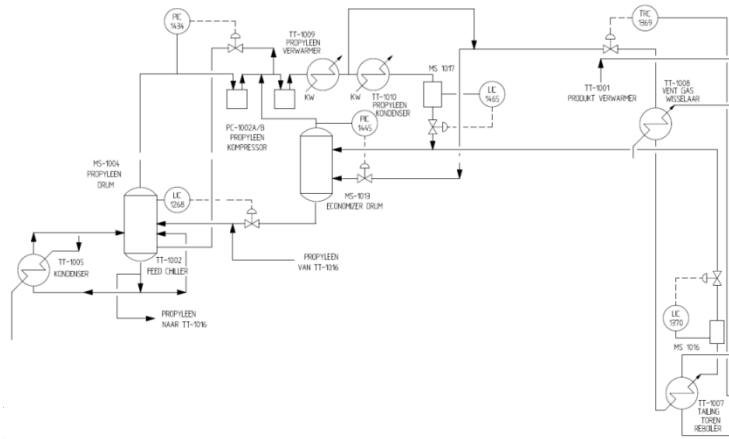
- 4a. Indien er een tweefase-evenwicht heerst in de kolom wordt de werkelijke druk in de kolomsectie als representatief beschouwd. Als representatieve temperatuur wordt de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van de representatieve stof genomen. Er wordt bijkomend nagegaan of een andere keuze voor een representatieve stof uit de in de sectie aanwezige stoffen niet leidt tot een betere overeenstemming tussen de representatieve en de werkelijke temperatuur.
- 4b. Indien er geen tweefase-evenwicht heerst in de kolom worden de werkelijke druk en temperatuur als representatief beschouwd.
5. Op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode wordt de top- of de bodemsectie als representatief genomen voor de volledige destillatiesectie.

4.3 KOELKRINGLOPEN

4.3.1 Literatuurstudie

4.3.1.1 OVR/13/02 Total Petrochemicals Antwerpen

Het propyleenkoelsysteem wordt gebruikt voor het koelen en condenseren van de gassen in de isobutaan-herwinningseenheid (BRU) en in de ethyleen-herwinningseenheid (ERU). De propyleen, die in TT-1005 wordt verdampt, is afkomstig van het propyleen opslagvat MS-1004 (zie figuur 4.3.1.1.1).



Figuur 4.3.1.1.1 Processchema propyleenkoelkringloop (OVR/13/02)

Voor elk van de installaties wordt de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.3.1.1.1).

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
propyleen drum MS1004	propyleen	vloeistof/gas	15,17	5.000	- 40	0,4
economiser drum MS1013	propyleen	vloeistof/gas	9,45	3.000	- 8	3,8
tailing tower reboiler level pot MS1016	propyleen	vloeistof/gas	0,275	60	- 3	7,4
propyleen condensor level pot MS1017	propyleen	vloeistof/gas	0,38	70	35	15
propyleen compressor PC1002A/B	propyleen	gas	4889 m ³ /h	-	- 40 – 50	0,4 – 15
condensor TT1005 (mantel)	propyleen	vloeistof/gas	< 0,5	-	- 40	
tailing tower reboiler TT1007 (pijpen)	propyleen	vloeistof/gas	< 0,5	-	- 3	

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
propyleen desuperheater TT1009 (mantel)	propyleen	gas	< 0,5	-	40	15
propyleen condensor TT1010 (mantel)	propyleen	vloeistof/gas	< 2	-	35	15

Tabel 4.3.1.1.1 Beschrijving installaties propyleenkoelkringloop (OVR/13/02)

In de selectietabel wordt de volledige koelkringloop beschouwd als één insluitsysteem (zie tabel 4.3.1.1.2). Dit insluitsysteem wordt niet geselecteerd.

Installatie	Stof	Massa (kg)	Omstandigheidsfactoren (-)	T (°C)	p (baro)	Aanwijzingsgetal
PC1002A/B, TT1009, TT1010, MS1017	propyleen	70	1 / 1 / 10	50	15	0,07
MS1013	propyleen	3.000	1 / 1 / 10	- 8	3,8	3,00
MS1016	propyleen	60	1 / 1 / 10	- 3	7,4	0,06
MS1004	propyleen	5.000	1 / 1 / 3,8	- 40	1,4	1,90
totaal						5,03

Tabel 4.3.1.1.2 Selectietabel propyleenkoelkringloop (OVR/13/02)

4.3.1.2 OVR/13/03 Total Raffinaderij Antwerpen

De naftakrakingseenheid J91 omvat o.a. een propyleenkoelkringloop. Voor elk van de installaties wordt de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.3.1.2.1).

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
compressor lage temp. suction drum F91401	propyleen	gas	255	530	- 30	1
accumulator F91403	propyleen	vloeistof	187,2	93.600	26	11,12
compressor hoge temp. suction drum F91402	propyleen	vloeistof	187	93.500	10	6,9
depropaniser condensor C91336	propyleen	vloeistof	10	3.500	12	7,16
dryer feed chiller C91208	propyleen	vloeistof	12,8	4.480	10	7,03
ethyleen condensor C91407	propyleen	vloeistof	19,3	6.755	- 29	11,3
demethaniser feed low level chiller C91303	propyleen	vloeistof	19,9	6.965	- 29	1,15

Installatie	Stof	Fase	Volume (m ³)	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
C2 splitter condensor C91334A/B	propyleen	vloeistof	79	27.650	- 29	1,13
deethaniser startup condensor C91327	propyleen	vloeistof	9,7	3.395	- 28	1,13
condensor C91402	propyleen	gas	0,6	11	64,3	11,7
desuperheater/condensor C91401A/D	propyleen	vloeistof	30,5	4.575	64	11,7

Tabel 4.3.1.2.1 Beschrijving installaties propyleenkoelkringloop (OVR/13/03)

In de selectietabel wordt de volledige koelkringloop opgedeeld in twee insluitsystemen, m.n. SS41 en SS42 (zie tabel 4.3.1.2.2). Per deelinsluitsysteem (bv. SS41L) is een keuze gemaakt welke procescondities (product, druk en temperatuur) gebruikt worden in de selectietabel. In de meeste gevallen zijn de strengste condities behouden. Hiervan is enkel afgeweken wanneer in het deelinsluitsysteem een installatie aanwezig is, waarvan de massa aanzienlijk groter is dan de massa aanwezig in de andere installaties. In dat geval zijn de condities van deze installatie weerhouden. De massa is in de selectietabel arbitrair verhoogd met een factor 1,1 om rekening te houden met mogelijke nalevering. De insluitsystemen worden niet geselecteerd.

Installatie	Stof	Massa (kg)	Omstandigheidsfactoren (-)	T (°C)	p (baro)	Aanwijzingsgetal	
SS41G	F91401	propyleen	583	1 / 1 / 10	- 30	1	0,6
SS41L1	F91403, F91402, C91336, C91208, C91407	propyleen	222.019	1 / 1 / 10	26	11,12	222,0
SS41L2	C91303, C91334A/B, C91327	propyleen	41.811	1 / 1 / 7,2	- 29	1,15	30,0
SS41	totaal						252,6
SS42G	C91402	propyleen	13	1 / 1 / 10	64	11,7	0,0
SS42L	C91401A/D	propyleen	20.130	1 / 1 / 10	64	11,7	20,1
SS42	totaal						20,1

Tabel 4.3.1.2.3 Selectietabel propyleenkoelkringloop (OVR/13/03)

4.3.1.3 OVR/14/01 BASF

De propyleenkoelkringloop is een gesloten kringloop met propyleen op 4 temperaturniveaus en bijhorende drukk niveaus. Het hart van de koelkring is een viertrapscompressor. Na de vierde trap van de compressor wordt propyleen bij 18 bar en 45°C gecondenseerd met lucht- en waterkoelers.

Na condensatie wordt het propyleenkoelmiddel verzameld in een vat. Vanuit het vat wordt het vloeibaar propyleenkoelmiddel op het vereiste temperatuurniveau aan de afnemers geleverd:

- ❑ Propyleenkoelmiddel van +12°C (7,0 bar) wordt ingezet in de voorkoeling (PG26).
- ❑ Propyleenkoelmiddel van 0°C (4,5 bar) wordt ingezet in de voorkoeling en voor condensors in PG50-52-57.
- ❑ Propyleenkoelmiddel van -15°C (2,2 bar) wordt ingezet in de voorkoeling en de condensor van de tweede C2/C3-scheidingskolom.
- ❑ Propyleenkoelmiddel van -30°C (0,9 bar) wordt ingezet in de voorkoeling, als koelmiddel om etheen te condenseren en in PG30.

Na verdamping bij de verbruikers wordt het propyleengas terug naar de compressor gevoerd. De propyleenkoelkringloop bevat geen individueel inblokkeerbare delen en wordt hier als één onderdeel aanzien. In de selectietabel (die tevens dienst doet als overzicht van de installaties met gevaarlijke stoffen) wordt voor elk van de temperatuurniveaus van het insluitsysteem de massa en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.3.1.3.1). *De tabel omvat geen opsomming van de installaties die deel uitmaken van het insluitsysteem (i.c. de propyleenkoelkringloop).* Dit insluitsysteem wordt niet geselecteerd.

Installatie	Stof	Massa (kg)	Omstandigheidsfactoren (-)	T (°C)	p (baro)	Aanwijzingsgetal
	propyleen	44.000	1 / 1 / 7,12	- 30	0,9	31,3
	propyleen	22.000	1 / 1 / 10	- 15	2,2	22,0
	propyleen	13.000	1 / 1 / 10	0	4,5	13,0
	propyleen	17.000	1 / 1 / 10	12	7	17,0
	propyleen	78.000	1 / 1 / 10	30	18	78,0
totaal						161,3

Tabel 4.3.1.3.1 Selectietabel propyleenkoelkringloop (OVR/14/01)

4.3.1.4 OVR/14/09 Total Olefins Antwerp (site A)

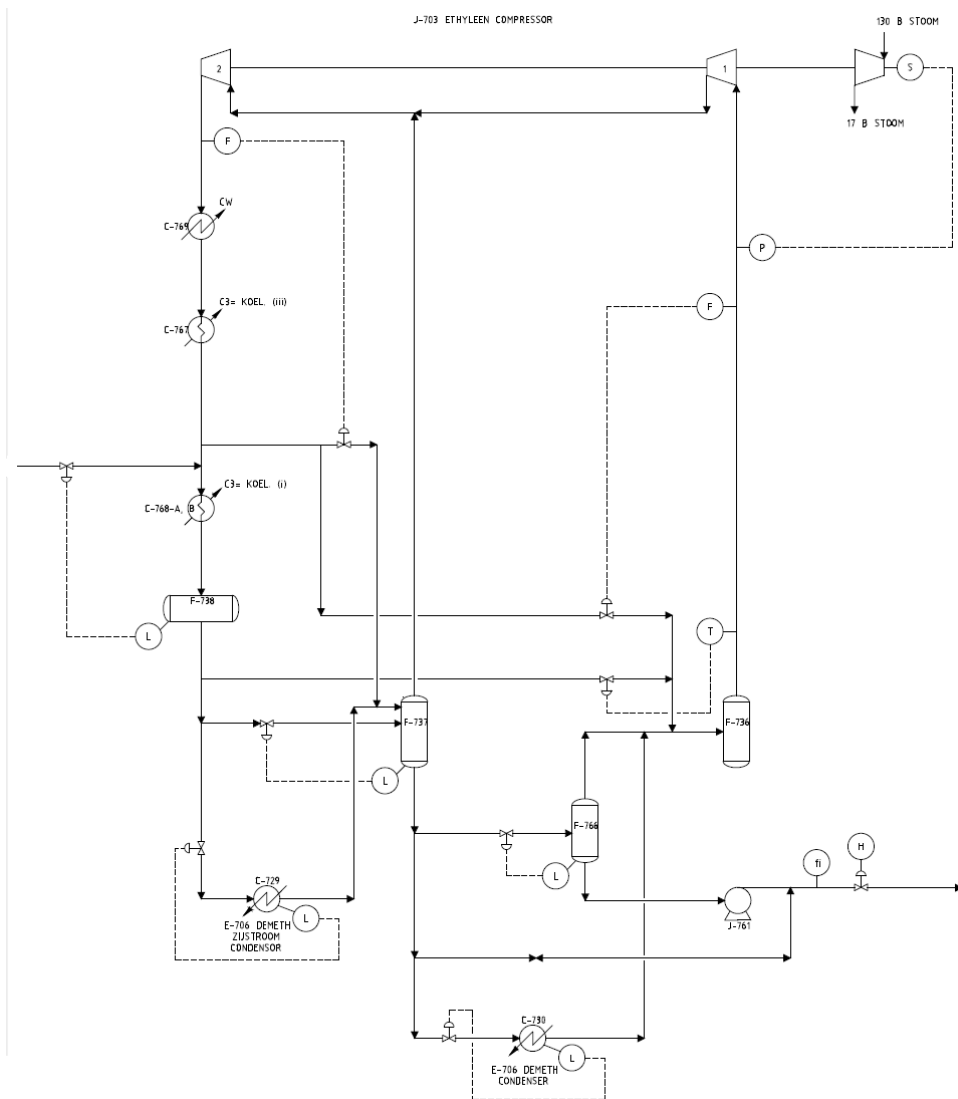
In de ethyleenkoelkringloop (open koelkringloop) wordt ethyleen samengedrukt met de tweetraps compressor J-703 en in koelers C-769 (koelwater) en C-767 en C-768 A/B (propyleen) gecondenseerd. In de behouder F-738 is het ethyleen vloeibaar. Na ontspannen komt het vloeibaar ethyleen in behouders F-737 en F-766 terecht. Vanuit behouder F-766 kan vloeibaar ethyleen naar de opslagtank gepompt worden. Het gasvormige ethyleen in behouder F-766 wordt samen met de andere ethyleenstromen verzameld in het aanzuigvat F-736 om vervolgens terug aangezogen te worden door de compressor J-703 (zie figuur 4.3.1.4.1).

In de selectietabel (die tevens dienst doet als overzicht van de installaties met gevaarlijke stoffen) worden voor elk van de installaties de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie tabel 4.3.1.4.1). *Voor de warmtewisselaars waarin ethyleen enkel als gas aanwezig is (en waar bijgevolg*

een temperatuurverandering plaatsvindt) wordt slechts één temperatuur vermeld. De selectie wordt uitgevoerd op het niveau van de afzonderlijke installaties (enkel rekening houdend met de ogenblikkelijke massa in de installatie). Geen van de installaties wordt geselecteerd. De vraag naar een representatieve temperatuur of druk stelt zich bijgevolg niet.

Installatie	Stof	Massa (kg)	Omstandigheidsfactoren (-)	T (°C)	p (baro)	Aanwijzingsgetal
demethaniser condensor C730 (mantel)	ethyleen	3.187	1 / 1 / 4,2	- 100	0,3	1,3
F736	ethyleen	786	1 / 1 / 4,4	- 99,2	0,2	0,4
F766	ethyleen	491	1 / 1 / 5,2	- 97,1	0,2	0,3
demethaniser zijstroom condensor C729 (mantel)	ethyleen	2.991	1 / 1 / 10	- 67,5	4,8	3,0
F737	ethyleen	1.262	1 / 1 / 10	- 67,1	4,8	1,3
C769 (mantel)	ethyleen	23	1 / 1 / 10	34,2	18,0	0,0
C767 (pijpen)	ethyleen	41	1 / 1 / 10	8,0	17,1	0,0
C768A/B (pijpen)	ethyleen	1.199,5	1 / 1 / 10	- 23,0	16,9	1,2
F738	ethyleen	8.790	1 / 1 / 10	- 33,3	16,8	8,8

Tabel 4.3.1.4.1 Beschrijving installaties ethyleenkoelkringloop (OVR/14/09)



Figuur 4.3.1.4.1 Processchema ethyleenkoelkringloop

4.3.1.5 Bevindingen

De bevindingen zijn wat betreft de selectie van de installaties analoog aan deze voor destillatie-secties en worden hier niet herhaald.

4.3.2 Voorgestelde werkwijze

Voor een koelkringloop als insluitsysteem wordt voorgesteld om een representatieve druk en temperatuur te bepalen voor de verschillende drukniveaus (zie § 4.3.2.1). Voor de faalwijzen waarbij de volledige inhoud van het insluitstelsel vrijkomt, zal bovendien een keuze gemaakt moeten worden tussen de drukniveaus (zie § 4.2.2.2).

4.3.2.1 Drukniveaus

Een koelkringloop omvat verschillende drukkiveaus. Het ligt bijgevolg voor de hand om bij de keuze van representatieve temperaturen en drukken het aantal mogelijke combinaties te beperken tot het aantal niveaus.

Als voorbeeld wordt de ethyleenkoelkringloop uit § 4.3.1.4 beschouwd. In onderstaande tabel worden voor elk van deze installaties de inhoud en de procestemperatuur en –druk gegeven (zie figuur 4.3.1.4.1).

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
demethaniser condensor C730 (mantel)	ethyleen	vloeistof/gas	3.187	- 100	0,3
F736	ethyleen	vloeistof/gas	786	- 99,2	0,2
F766	ethyleen	vloeistof/gas	491	- 97,1	0,2
demethaniser zijstroom condensor C729 (mantel)	ethyleen	vloeistof/gas	2.991	- 67,5	4,8
F737	ethyleen	vloeistof/gas	1.262	- 67,1	4,8
C769 (mantel)	ethyleen	gas	23	34,2	18,0
C767 (pijpen)	ethyleen	gas	41	8,0	17,1
C768A/B (pijpen)	ethyleen	gas	1.200	- 23,0	16,9
F738	ethyleen	vloeistof/gas	8.790	- 33,3	16,8

Tabel 4.3.2.1.1 Afzonderlijke installaties ethyleenkoelkringloop

Voor de lage en de middendruk is het vrij eenvoudig om een representatieve temperatuur te kiezen horende bij de representatieve druk van het drukkiveau: voor deze drukkiveaus wordt de hoogste druk en de bijhorende verzadigingstemperatuur als representatief genomen. Voor de hoge druk is dit niet het geval, aangezien de procescondities van drie van de vier installaties zich buiten het tweefasegebied bevinden. De vraag stelt zich welke combinatie van procescondities representatief is voor het hogedrukniveau. Gelet op het feit dat de massa voornamelijk aanwezig is in F738 zal hier gekozen worden voor de procescondities horende bij deze installatie.

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
demethaniser condensor C730 (mantel)	ethyleen	vloeistof/gas	3.187	- 100	0,26
F736			786		
F766			491		
demethaniser zijstroom condensor C729 (mantel)	ethyleen	vloeistof/gas	2.991	- 67,0	4,8
F737			1.262		
C769 (mantel)	ethyleen	gas of vloeistof/gas	23	- 33,0	16,8
C767 (pijpen)			41		

Installatie	Stof	Fase	Massa (kg)	T (°C)	p (baro)
C768A/B (pijpen)			1.200		
F738			8.790		

Tabel 4.3.2.1.2 Drukniveaus ethyleenkoelkringloop

4.3.2.2 Volledige koelkringloop

Voor de effecten die gemodelleerd worden op het niveau van het insluitsysteem (catastrofaal falen gevolgd door de vorming van een brandbare en/of toxische wolk) dient er een keuze gemaakt te worden voor één van de drukk niveaus. Naar analogie met de werkwijze voor destillatiesecties wordt er beroep gedaan op de TWOL *Vlaamse selectiemethode*. Deze geeft de hoogste schadefactoren voor “VCE/wolkbrand” voor C730 behorende tot het laagste drukk niveau (zie tabel 4.3.2.2.1). Bijgevolg wordt deze als representatief genomen voor de volledige koelkringloop.

4.3.2.3 Samenvatting

1. Op basis van de procesdruk worden de installaties toegekend aan de drukk niveaus.
- 2a. Indien er (overwegend) een tweefase-evenwicht heerst in het drukk niveau wordt de werkelijke druk als representatief beschouwd. Als representatieve temperatuur wordt de bij die druk horende verzadigingstemperatuur van het koelmiddel genomen.
- 2b. Indien er geen tweefase-evenwicht heerst in het drukk niveau wordt de werkelijke druk en temperatuur van de installatie met de grootste massa als representatief beschouwd. Indien verschillende installaties een vergelijkbare massa hebben wordt de keuze gemaakt op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode.
3. Op basis van de schadefactoren berekend met behulp van de Vlaamse selectiemethode wordt een drukk niveau als representatief genomen voor de volledige koelkringloop

4.4 REACTOREN

In een reactor vindt een omzetting plaats van reagentia naar reactieproducten. De aard en de hoeveelheid van de stoffen die aanwezig zijn in een reactor wijzigen bijgevolg in de tijd. Dit stelt een probleem bij de keuze van een representatieve stof. Daarnaast zijn zowel de reagentia als de reactieproducten doorgaans een mengsel van meerdere (zuivere) stoffen.

4.4.1 Literatuurstudie

4.4.1.1 OVR/12/01 Chevron Phillips Chemicals International (CPCI)

In de inrichting worden organische zwavelverbindingen zoals mercaptanen en (poly)sulfiden geproduceerd. De belangrijkste grondstoffen voor deze productie zijn waterstofsulfide, olefinen, ethyleenoxide en zwavel. Voor de productie beschikt CPCI over verschillende productiestraten. Elke productiestraat bestaat typisch uit een reactiesectie en uit een zuiveringssectie. In de reactiesectie gebeurt de chemische omzetting van de grondstoffen tot de ruwe (“crude”) eindproducten. In de zuiveringssectie wordt het reactieproduct aangezuiverd tot een verkoopbaar eindproduct.

De productie gebeurt doorgaans in campagnes. Dit houdt in dat een productiestraat gedurende zekere tijd gebruikt wordt voor de aanmaak van product A, vervolgens voor de aanmaak van product B ... De reactiesecties, zuiveringssecties en opslagplaatsen zijn in principe *multipurpose*. Er gebeurt bijgevolg regelmatig een omschakeling van de installaties.

REACTIE- EN ZUIVERINGSSECTIES – De productie van mercaptanen gebeurt door de reactie van een olefine met waterstofsulfide. Om het evenwicht van de reactie naar de mercaptanen te sturen wordt gewerkt met een overmaat aan H_2S . Met andere woorden H_2S is zowel in de reagentia als in de reactieproducten aanwezig. De reactiesecties bevatten dan ook doorgaans installaties om de overmaat aan H_2S te recupereren.

Er is (in de subselectietabel) gekozen om de reactieproducten als representatief te nemen voor de inhoud van de reactor⁸⁸. Gelet op het bovenstaande impliceert dit dat H_2S steeds terugkomt als stof aanwezig in een reactor (met uitzondering van het systeem 790, waarin geen H_2S aanwezig is). *Het is onduidelijk hoe de keuze voor het eigenlijke reactieproduct dat naast H_2S aanwezig is, gemaakt werd. Dit is evenwel irrelevant aangezien het externe mensrisico dat uitgaat van de installaties veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van H_2S . Een correcte inschatting van de hoeveelheid H_2S die aanwezig is (of kan zijn), is met andere woorden, voldoende.*

Het is onduidelijk wat de hoeveelheid representatieve stof is waarmee gerekend is in de effectberekening. Vermoedelijk is er impliciet verondersteld dat de voor het externe mensrisico relevante effecten te wijten zijn aan de intoxicatie van H_2S , zodat in de effectberekening is uitgegaan van de aanwezige hoeveelheid H_2S (abstractie makend van enige andere stof aanwezig in een mengsel met H_2S).

⁸⁸ De keuze hiervoor is niet geëxpliciteerd in de tekst. Een mogelijke reden hiervoor zou evenwel kunnen zijn dat de reacties zeer snel verlopen.

OPSLAGPLAATSEN – Ten behoeve van de inventarisatie van de gevaarlijke stoffen en de risicoanalyse (selectie) zijn twee groepen van stoffen geïdentificeerd, m.n. de C₆ – C₁₂ monomeren en de grondstoffen & (crude) eindproducten. Tot de groep van de C₆ – C₁₂ monomeren behoren de typische grondstoffen van het systeem 730 zoals cyclohexeen, octeen en dodeceen. Voor de gevareneigenschappen is uitgegaan van de eigenschappen van cyclohexeen inzake vluchtigheid en ontvlambaarheid (laagste kook- en vlampunt) en octeen wat de milieugevaren betreft (risicozin R51/53). Tot de groep van grondstoffen & (crude) eindproducten behoren alle producten die in de “standaard tanks” kunnen opgeslagen worden. Het betreft o.a. BME, CHM, DES, dimethylsulfide, DMDS, ETE, MMP, NDM, NOM, NPM, propyleen tetrameer, propyleen trimeer [...] Voor de gevareneigenschappen is uitgegaan van de eigenschappen van dimethylsulfide inzake vluchtigheid en ontvlambaarheid (laagste kook- en vlampunt), BME (en MMP) inzake toxiciteit (enige producten die als toxisch zijn ingedeeld), NPM inzake milieugevaren (risicozin R50).

Als representatieve stof aanwezig in de atmosferische opslag tanks is met andere woorden gekozen voor een denkbeeldige vloeistof, waaraan de meest nadelige eigenschappen van alle betrokken reële stoffen worden toegekend. Voor de Seveso-categorieën 2, 7b en 9i leidt dit tot een belangrijke overschatting van de desbetreffende hoeveelheden, terwijl dit tot een onderschatting van de hoeveelheden in de categorieën 6 en 9ii leidt.

4.4.1.2 OVR/13/01 Janssen Pharmaceutica

In de inrichting worden actieve basisstoffen voor geneesmiddelen geproduceerd. Deze productie vergt een aantal tussenstappen variërend van 3 à 4 tot 15 à 20, afhankelijk van de moeilijkheidsgraad van de synthese van het gewenste eindproduct. De inrichting beschikt over vijf multipurpose productie-eenheden, voorzien van reactoren, centrifuges, drogers en energievoorzieningen en de bijbehorende installaties waaronder op- en overslagplaatsen alsook nutsinstallaties.

Hoewel de bereidingswijze voor elke actieve basisstof van een geneesmiddel verschillend is, kan de productie of de chemische synthese samengevat worden in een aantal stappen. Bij de chemische productie te Geel worden batchreactoren gebruikt, waarin diverse chemische reacties uitgevoerd worden in aanwezigheid van oplosmiddelen en hulpstoffen. De reagentia zijn meestal een vaste stof of een vloeistof. De temperatuur in de reactoren kan variëren van -10°C tot 165°C⁸⁹. De reactoropstelling is voorzien van een condensor en nakoeler. Na de chemische reactie wordt het product gezuiverd. Het gezuiverde product wordt vervolgens gescheiden van het oplosmiddel. Het oplosmiddel wordt via de condensor en de nakoeler gekoeld en opgeslagen in een buffertank. Uiteindelijk wordt het oplosmiddel gerecupereerd en hergebruikt of afgevoerd voor verbranding of externe recuperatie. Na het scheidingproces wordt het product eventueel nagewassen met een wasvloeistof, waarna het centrifugeren volgt om het product zo droog mogelijk te krijgen. Het product wordt ofwel opgevangen voor verdere verwerking ofwel naar een droger gestuurd om volledig te drogen. Het gedroogde product wordt ingezet voor een volgende reactie of wordt, als het om een eindproduct gaat, afgewerkt in de poederunit en gestockeerd in het magazijn.

⁸⁹ Een uitzondering hierop zijn de reactoren voor HCLT, waarvoor de temperatuur kan ingesteld worden tot -80°C.

5 OPSLAG IN MAGAZIJNEN

5.1 OPSLAG VAN TOXISCHE VLOEISTOFFEN IN MAGAZIJNEN

Module 11 (Magazijnen) van het *Handboek Risicoberekeningen* (Departement Omgeving, 2019) stelt: "Voor zeer toxisch en toxisch onverbrand product samen wordt

- ofwel één representatieve stof voorgesteld op basis van de aanwezige producten. Deze representatieve stof komt bij voorkeur voor in de lijst van (zeer) toxische stoffen met voorgeschreven probitfuncties. In dit geval wordt de voorgeschreven probitfunctie gebruikt.
- ofwel gebruik gemaakt van volgende probit: $Pr = -5,86 + \ln(c^2 \cdot t)$ waarin c de concentratie (mg/m^3) is en t (s) de tijd."

5.1.1 Literatuurstudie – Vlaamse OVR's

5.1.1.1 OVR/12/02 Hermoo Belgium

Hermoo Belgium baat een groothandel in fytofarmaceutische producten uit. Het betreft hierbij voornamelijk gewasbeschermingsmiddelen, pesticiden, herbiciden en meststoffen voor de fruitteelt. De inrichting is vergund voor de opslag van 450 ton (zeer) toxische stoffen.

Omdat Hermoo Belgium reeds geruime tijd een opslagmagazijn uitbaat is er bij de opstelling van het OVR een voldoende inzicht in de aard van de opgeslagen producten. Wat betreft de aard van de gevaarlijke stoffen zijn de producten weerhouden die representatief zijn m.a.w. die binnen de betrokken gevarenklasse als het meest gevaarlijk te aanzien zijn enerzijds en deze die in de grootste hoeveelheden aanwezig zijn anderzijds. Op die manier wordt ook rekening gehouden met bijvoorbeeld kleinere hoeveelheden van de meest toxische producten. De lijst van [de representatieve] gevaarlijke stoffen is opgenomen in het OVR.

De opslaghoeveelheid zeer toxische en toxische stoffen betreft specifiek producten die diquat dibromide bevatten. Het zuivere product is een vast, kristallijne stof met een zeer lage dampspanning dat bij Hermoo Belgium uitsluitend in oplossingen met water voorkomt. De zgn. technische oplossing bevat 40% diquat dibromide. De zeer lage dampspanning ($< 10^{-8}$ kPa bij 25°C van het zuivere vaste product) maakt dat er voor een vloeistofplas zonder meer geen dampen te verwachten zijn zodat relevante effecten zijn uit te sluiten.

Algemeen kunnen andere (zeer) toxische vloeistoffen aanwezig zijn die aan dezelfde randvoorwaarden voldoen en waaraan dus geen relevante effecten verbonden zijn. Het gaat meer bepaald om (zeer) toxische vloeistoffen die niet toxisch zijn voor inademing enerzijds en (zeer) toxische stoffen die toxisch zijn voor inademing doch waaraan geen relevante effecten verbonden zijn (en waarvoor het thans voorziene product representatief is) anderzijds.

MAGAZIJNBRAND – Voor wat de compartimenten betreft waarin de opslag van (zeer) toxische stoffen is gepland, wordt uitgegaan van de (zeer) toxische producten die evenwel voor 60 – 80% uit water bestaan en waarvoor het scenario van een brand met vrijzetting van toxische rookgassen aldus niet

weerhouden wordt. Daarom wordt hiervoor teruggevallen op het scenario waarin enkel rekening wordt gehouden met de toxische verbrandingsproducten afkomstig van stoffen met hetero-atomen. Indien andere (zeer) toxische stoffen in opslag zijn, is dat binnen het hier gestelde kader toegelaten indien de relevante effecten verbonden aan de vorming van toxische rookgassen dan ook niet groter in omvang zijn. De exploitant zal hierop toezicht houden binnen het kader van de werkwijze om nieuwe producten in opslag te nemen.

5.1.1.2 OVR/13/34 VLS-Group Belgium – Magazijn Servaes

De keuze van de representatieve (zeer) toxische stof voor de vorming van onverbrande toxische dampen bij een brand in een magazijn Jules Servaes 1 is gemaakt op basis van een effectberekening voor een brand van 900 m² met een oneindig ventilatievoud. Aangezien de probitfunctie voor het mengsel die wordt bekomen met TDI als onverbrand toxisch product, resulteert in effectafstanden die beperkt groter zijn dan degene die bekomen worden met chloorpicrine, wordt TDI in de berekeningen weerhouden als representatieve stof voor de toxisch onverbrande producten.

5.1.1.3 OVR/13/38 ADPO Liefkenshoek

In de QRA wordt uitgegaan van TDI als representatieve stof voor de toxisch onverbrande producten en dit op basis van de inherente toxische eigenschappen (LC_{01,30}). Er wordt bijgevolg geen onderscheid gemaakt tussen toxische en zeer toxische stoffen.

5.1.1.4 OVR/13/48 VLS-Group Belgium Magazijn Blauwhoef

Op basis van een analyse van de huidige stocklijsten van de inrichting betreffen de cyaniden (NaCN en KCN) veruit de meest toxische producten die in eenheids-verpakkingen worden opgeslagen op de site. Rekening houdend met geplande uitbreidingen en met de mogelijke opslag van (zeer) toxische stoffen in alle magazijnen op de inrichting, wordt conservatief waterstofcyanide weerhouden als representatieve stof voor de toxisch onverbrande producten in de magazijnen Blauwhoef 1 en Blauwhoef 3, met uitzondering van compartiment 3 van dit laatste magazijn. In dit compartiment alsook in de compartimenten van magazijn Blauwhoef 2, waar enkel producten met een hoger vlammpunt kunnen worden opgeslagen, wordt de opslag van cyaniden niet beoogd door de exploitant. Op basis van ervaringsgegevens van de inrichting en van de VR-deskundige wordt voor deze compartimenten TDI als representatief weerhouden voor de toxisch onverbrande producten. Het betreft een product dat qua vlammpunt op de betreffende locaties kan worden opgeslagen en waarvan de toxiciteit (LC-waarde) vergelijkbaar is met deze van waterstofcyanide.

5.1.1.5 OVR/13/40 Van Moer Cleaning & Repair

Acroleïne wordt conservatief als representatieve stof voor de toxisch onverbrande producten beschouwd op basis van de inherente toxische eigenschappen (LC-waarde). Er wordt bijgevolg geen onderscheid gemaakt tussen toxische en zeer toxische stoffen die aanwezig kunnen zijn in de magazijnen.

5.1.1.6 OVR/14/02 Transports Dandoy

Aangezien binnen compartiment 1 zowel zeer toxische als toxische stoffen aanwezig kunnen zijn waarvan de eerstgenoemde in lage hoeveelheden (max. 10 ton), werd voor beide

5.2.1.8 OVR/14/02 Transports Dandoy

Voor de compartimenten 1 en 3 t.e.m. 12 wordt de standaard brutostructuurformule aangewend:



Voor compartimenten 2a en 2b, waarin enkel opslag van nitrocellulose mogelijk is, wordt een representatieve brandstofmix afgeleid op basis van het veiligheidsinformatieblad voor nitrocellulose dat aanwezig is op de inrichting. Het betreffende product wordt steeds opgelost in een alcohol of water. Voor het afleiden van de representatieve brutostructuurformule wordt rekening gehouden met de fractie van de componenten uit het mengsel (70 % nitrocellulose | 30 % oplosmiddel). Aangenomen wordt dat oplossingen van nitrocellulose met zowel ethanol, isopropanol als water evenveel voorkomen, waarbij water conservatief niet mee in beschouwing wordt genomen bij de bepaling van de representatieve brutostructuurformule (actieve fractie: 0 %). Dit resulteert in volgende structuurformule: $C_{4,12}H_{7,66}O_{4,70}N_{1,11}$.

5.2.1.9 OVR/14/14 Mexico Natie

Voor alle magazijnen op de site waar gevaarlijke stoffen aanwezig kunnen zijn, wordt de standaard brutostructuurformule aangewend: $C_{3,90}H_{8,50}O_{1,06}N_{1,17}Cl_{0,46}S_{0,51}P_{1,35}$.

In deze brutostructuurformule wordt uitgegaan een gewichtspercentage van 10 % aan onder meer stikstof en andere heteroatomen. Rekening houdend met de mogelijke opslag van het met naam genoemde ammoniumnitraat, waarvan het stikstofgehalte meer dan 10 gew% bedraagt, en met de maximale opslaghoeveelheid van deze producten t.o.v. de totale opslagcapaciteit aan gevaarlijke producten in eenheidsverpakkingen, wordt besloten dat bovenvermelde brutostructuurformule voldoende conservatief is voor de toestand van de inrichting na de beoogde uitbreidingen.

5.2.2 Bevindingen

De standaard brutostructuurformule wordt vrij vaak toegepast (in 6 van de 9 bestudeerde OVR's, evenwel niet steeds uitsluitend). In 5 van de 9 bestudeerde OVR's wordt er een zelf afgeleide brutostructuurformule toegepast:

- in 3 van de 5 gevallen werd uitgegaan van historische gegevens over de opgeslagen producten;
- in 1 van de 5 gevallen werd uitgegaan van een specifiek product (voor een magazijn waarin enkel de opslag van dit product wordt voorzien);
- in 1 van de 5 gevallen werd uitgegaan van een beperking op het gehalte aan heteroatomen.

5.3 CONCLUSIE

Aangezien de verdamping van acut inhalatoir toxische stoffen niet beschouwd wordt in de berekening van de effecten van een magazijnbrand, zijn stoffeigenschappen die verband houden met de verdamping (zoals de dampspanning, molaire massa en massadiffusiviteit) niet relevant in de keuze voor een representatieve stof voor het scenario van een magazijnbrand. De belangrijkste stoffeigenschap is bijgevolg de toxiciteit en meer bepaald de probitfunctie voor blootstelling aan een toxische stof.

6 ONTPLOFBARE STOFFEN

6.1 ALGEMEEN

Stoffen, mengsels en voorwerpen van de klasse ontplofbare stoffen die niet als instabiele ontplofbare stof zijn ingedeeld, worden aan de hand van het soort gevaar dat zij opleveren in een van de volgende subklassen ingedeeld:

- ❑ SUBKLASSE 1.1
stoffen, mengsels en voorwerpen met gevaar voor massa-explosie (een massa-explosie is een explosie die vrijwel onmiddellijk nagenoeg de volledige aanwezige hoeveelheid treft).
- ❑ SUBKLASSE 1.2
stoffen, mengsels en voorwerpen met gevaar voor scherfwerking, maar zonder gevaar voor massa-explosie.
- ❑ SUBKLASSE 1.3
stoffen, mengsels en voorwerpen met gevaar voor brand en hetzij een gering gevaar voor luchtdrukwerking, hetzij een gering gevaar voor scherfwerking, of beide, maar zonder gevaar voor massa-explosie,
 - a) waarvan de verbranding aanzienlijke warmtestraling oplevert; of
 - b) die een voor een uitbranden, waarbij een geringe luchtdruk- of scherfwerking, of beide, optreden.
- ❑ SUBKLASSE 1.4
stoffen, mengsels en voorwerpen die slechts een gering gevaar opleveren bij ontsteking of inleiding. De gevolgen blijven in hoofdzaak beperkt tot de verpakking en er valt geen scherfwerking van enige omvang of reikwijdte te verwachten. Een van buitenaf inwerkende brand mag niet leiden tot een vrijwel onmiddellijke ontploffing van nagenoeg de gehele inhoud van de verpakking.
- ❑ SUBKLASSE 1.5
stoffen en mengsels met gevaar voor massa-explosie, maar die zo weinig gevoelig zijn dat er onder normale omstandigheden een zeer geringe kans bestaat op inleiding of op de overgang van verbranding naar detonatie.
- ❑ SUBKLASSE 1.6
voorwerpen die uitsluitend extreem weinig gevoelige stoffen of mengsels bevatten en een verwaarloosbare kans op een onbedoelde inleiding of voortplanting vertonen.

6.2 LITERATUURSTUDIE

6.2.1 OVR/08/02 FN Herstal – afdeling Zutendaal

De gevaarlijke stoffen die op de site van FN H/Z aanwezig zijn, betreffen voornamelijk ontplofbare stoffen (Seveso II categorieën 4 en 5). De ADR-subklassen die specifiek van toepassing zijn op de bij FN H/Z aanwezige ontplofbare producten zijn 1.1, 1.2, 1.3 en 1.4.

De aard van de reactie (explosie, brand, ...) en de omvang van de effecten die ermee gepaard gaan, worden, zoals eerder vermeld, bepaald door de aard van de ontplofbare stof (ADR-subklasse) en de hoeveelheid ontplofbare stof die betrokken is bij het ongeval.

Met betrekking tot de hoeveelheid ontplofbare stof die bij de explosie betrokken is, wordt steeds uitgegaan van de maximale hoeveelheid aan ontplofbare stoffen of voorwerpen die in de betreffende opslagruimte kan worden opgeslagen. Indien het de opslag van een massa-explosief product betreft (ADR-subklasse 1.1), dient bovendien rekening gehouden met het optreden van sympathische explosies in de naburige opslagruimten (acceptors) als gevolg van een massa-explosie of detonatie in de bestudeerde opslagruimte (donor). Het al dan niet optreden van een sympathische explosie in een acceptor-magazijn is afhankelijk van de onderlinge afstand tussen donor en acceptor, de constructiewijze van het acceptor-magazijn (lichte of zware constructie, omwals of niet) en de aard van de stoffen die worden opgeslagen in het acceptormagazijn.

Ontplofbare stoffen uit subklasse 1.1 zijn massa-explosief. De belangrijkste effecten van een massa-explosie zijn de vorming van schokgolven, de vorming van fragmenten en brokstukken afkomstig van de exploderende artikelen, de opslagruimte en de krater en het optreden van een brand (vuurbal) met een intense warmtestraling.

Ontplofbare stoffen en voorwerpen uit ADR-subklasse 1.2 zijn niet massa-explosief. Het optredende effect gaat hoofdzakelijk uit van het achtereenvolgens exploderen van individuele artikelen (munitie of vuurwerk), waarbij scherven, delen van de verpakking en niet geëxplodeerde artikelen worden weggeslagen. Het optreden van een schokgolf of een intense brand is niet aan de orde aangezien de opgeslagen artikelen afzonderlijk of in beperkte hoeveelheden met tussenpozen exploderen.

Ontplofbare stoffen en voorwerpen uit ADR-subklasse 1.3 geven bij ontbranding geen aanleiding tot relevante overdrukken of scherfwerking, maar kunnen wel aanleiding geven tot een intense brand. De effecten van een ongeval waarbij dergelijke stoffen of voorwerpen betrokken zijn manifesteren zich in de vorm van (intense) warmtestraling.

Ontplofbare stoffen en voorwerpen uit ADR-subklasse 1.4 geven geen aanleiding tot massaexplosie, scherfwerking of intense warmtestraling en leveren op korte afstand (max. 15 m) slechts een beperkt gevaar op. Dergelijke stoffen worden derhalve niet weerhouden in de analyse van het extern menrisico.

6.2.2 OVR/13/01 Janssen Pharmaceutica

Voor de specifieke opslag van 1-hydroxybenzotriazolemonohydraat (HOBT) dat weliswaar als explosief is ingedeeld volgens de stoffenrichtlijn, betreft het een stof in ADR-klasse 4.1 op basis van

testen voor de verpakkingen die bij Janssen Pharmaceutica NV worden gebruikt. Omdat er geen eigenschap van ‘massa-explosie’ verbonden is aan het betrokken product in zijn voorgeschreven verpakking⁹⁰, wordt dit scenario ook niet weerhouden, dus ook niet bij de evaluatie volgens het subselectiesysteem. Derhalve werd louter de grenswaarde voor brand weerhouden. Voor hydroxylammoniumchloride dat volgens de stoffenrichtlijn als explosief is ingedeeld, volgt uit bijkomende informatie⁹¹ dat aan dit product geen gevaar voor massa-explosie verbonden is. Voor de evaluatie in het subselectiesysteem werd dezelfde aanpak gevolgd als voor HOBt waarbij weliswaar bijkomend het milieugevaarlijk karakter aan bod komt.

6.2.3 OVR/13/07 Luik Natie Storage – Magazijn Beverland

Luik Natie Storage NV is vergund om ofwel 700 ton (NEC gewicht) veiligheidsmunitie en 100 ton (NEC gewicht) feestvuurwerk, ofwel 250 ton (NEC gewicht) feestvuurwerk op te slaan. De Seveso II categorie 4 (nu Seveso III rubriek P1b) met ontplofbare stoffen van subklasse 1.4 mag bijgevolg maximaal voor 800 ton aanwezig zijn op het bedrijfsterrein.

Deze producten worden gekarakteriseerd als ADR-klasse 1.4, i.e. stoffen en voorwerpen die slechts een gering explosiegevaar opleveren indien ze tijdens het vervoer tot ontsteking of inleiding komen. De gevolgen blijven in hoofdzaak beperkt tot het collo en leiden niet tot scherfwerking van enige omvang of reikwijdte. Een van buitenaf inwerkende brand mag niet leiden tot een explosie op praktisch hetzelfde ogenblik van vrijwel de gehele inhoud van het collo.

Inzake de term veiligheidsmunitie wordt verwezen naar het Ministerieel Besluit dd. 3 november 1958 (B.S. 24 december 1958) houdende de ambtelijke erkenning en indeling van de springstoffen. Krachtens dit besluit moet “veiligheidsmunitie” tegelijk aan de volgende veiligheidsnormen voldoen: (1) de ontploffing van één element in de verpakkingsvoorwaarden levert geen gevaar op voor de onmiddellijke omgeving; (2) de fabricatie en de verpakkingswijze moeten zodanig zijn dat de ontploffing van een element ten hoogste gedeeltelijk en onvolledig op de naburige munitie overslaat. Zij mag echter in geen geval de massale ontploffing bepalen van de in dezelfde verzendingskist geborgen munitie.

Representatieve categorieën veiligheidsmunitie bij Luik Natie Storage NV zijn patronen voor draagbare vuurwapens, jachtpatronen, e.d.; knalsteinen voor spoorwegdoeleinden, geladen met zwart kruit; ontstekingsmiddelen (geladen slaghoedjes). Deze voorwerpen worden typisch gestockeerd in kisten met massa’s variërend tussen 10 kg en 50 kg.

Consumentenvuurwerk bevat pyrotechnische mengsels, waarbij chemische reacties tussen de componenten kunnen optreden. Het betreft meestal mengsels van oxidatiemiddelen (nitraten, chloraten, peroxiden) en reductiemiddelen (metaalpoeders, koolstof, zwavel, silicium,...). Na ontsteking via een lont geven deze stoffen aanleiding tot een deflagratie, waarbij de componenten met elkaar reageren en warmte vrijkomt. Afhankelijk van het gewenste doel zijn diverse

⁹⁰ Dit is zonder meer zo volgens de ADR-indeling in klasse 4.1, maar ook aan de hand van de indeling volgens CLP m.n. ontplofbaar van gevarencategorie 1.3, is er geen gevaar voor massa-explosie.

⁹¹ ADR-klasse 8; en de geharmoniseerde CLP-indeling maakt geen melding van het explosief karakter.

pyrotechnische mengsels ontwikkeld. Hierbij wordt vaak zwart buskruit (d.i. een mengsel van kaliumnitraat, koolstof en zwavel) als component gebruikt.

Met betrekking tot de classificatie van consumentenvuurwerk wordt verwezen naar *Richtlijnen voor de opslag en bewerking van vuurwerk* door het Nederlandse TNO en anderzijds naar het Ministerieel Besluit inzake de vaststelling van de bijzondere veiligheidsvoorschriften met betrekking tot feestvuurwerk voor particulieren. Het consumentenvuurwerk kan op basis van voorgaande bronnen geclassificeerd worden volgens de transportreglementering als zijnde producten die vallen onder subklasse 1.4.

Ook deze producten worden gestockeerd in kartonnen dozen (10 kg) of in kisten (25 kg). Rekening houdende met de hierboven opgenomen omschrijving van de opgeslagen goederen, wordt voor de omgeving relevante drukopbouw als gevolg van detonatie niet weerhouden. De opslag van de goederen gebeurt in een compartiment voorzien van brandwerende muren ($R_f = 6$). Bijgevolg wordt warmtestraling niet weerhouden voor de bepaling van het externe mensrisico. Bij een brand binnen dit compartiment zal er onmiddellijke pluimstijging van de rookgassen optreden, waardoor er geen letale concentraties aan toxische gassen op grondniveau worden verwacht.

6.2.4 OVR/13/16 Kaneka Belgium

De tabel met het overzicht van de gevaarlijke stoffen vermeldt een maximale aanwezigheid van 4.500 kg in Seveso II categorie 5 (nu: Seveso III rubriek P1a).

Aangezien noch een (gedeeltelijke) tabel met gevaarlijke stoffen en hun eigenschappen noch een (gedeeltelijke) subselectietabel zijn opgenomen in het niet-confidentiële deel van het OVR, valt het niet te achterhalen om welke ontplofbare stof(fen) het gaat.

6.2.5 OVR/13/40 Van Moer Cleaning & Repair

Met betrekking tot de ontplofbare stoffen van Seveso II categorie 4 (nu: Seveso III rubriek P1b) dient opgemerkt te worden dat het enkel zal gaan om airbagmodules die voldoen aan de ADR-indeling 1.4. Een detaillering van de identificatie van de aanwezige stoffen is niet zinvol aangezien de eigenschappen van de artikelen met betrekking tot explosie en aanverwante eigenschappen conform de criteria van de betreffende ADR-indeling zijn.

Airbagmodules zijn typisch verpakt in een container. Opgemerkt dient te worden dat aangeboden airbagmodules enkel geaccepteerd worden indien de verpakkingen intact zijn. De modules worden in een *dedicated zone* opgeslagen. Bovendien behoren deze airbagmodules tot ADR-klasse 1.4 of 9. Deze klasse omvat stoffen en voorwerpen die slechts een gering explosiegevaar opleveren indien ze tijdens het vervoer tot ontsteking of inleiding komen. De gevolgen blijven in hoofdzaak beperkt tot het collo en leiden niet tot scherfwerking van enige omvang of reikwijdte. Een van buitenaf inwerkende brand mag niet leiden tot een explosie op praktisch hetzelfde ogenblik van vrijwel de gehele inhoud van het collo. Voorgaande transportklasse wordt gedefinieerd voor airbagmodules indien ze voldoende afschermend verpakt zijn. Aan de hand van bovenstaande gegevens wordt aangenomen dat een massa-explosie van airbagmodules niet verwacht wordt. De airbagmodules worden dan ook niet verder weerhouden voor de risicoberekeningen.

6.2.6 OVR/13/42 Indaver

Indaver wenst de mogelijkheid te voorzien om organische peroxiden, zelfontledende stoffen en feestvuurwerk beperkt tijdelijk te kunnen aanvaarden in afwachting van onmiddellijke verwerking. Er wordt geen opslag voorzien van deze producten.

Het betreft aanlevering in kleine verpakkingen (< 5kg) die kunnen gegroepeerd worden onder 4 groepen:

1. Feestvuurwerk vallende onder ADR klasse 1.4 (Seveso II categorie 4):
Feestvuurwerk afkomstig van inbeslagnames of afkomstig van containerparken. De massa per aanlevering wordt beperkt tot 1 ton, verpakt in kleinere recipiënten.
2. Afvalstoffen vallende onder ADR klasse 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 of 1.6 (Seveso II categorie 5):
Zeer kleine hoeveelheden chemicaliën afkomstig uit laboratoria. Het betreft hier zowel laboratoria uit de industrie (farmaceutische industrie, chemische industrie, onderzoek) als uit het onderwijs (o.a. universiteiten en hoge scholen). Per levering is er maar een beperkte hoeveelheid (< 5 kg) toegestaan. Deze 5 kg zal bestaan uit kleine labohoeveelheden met een max. van 1 kg per recipiënt.
3. Andere afvalstoffen ingedeeld als R2 of R3 en/of ADR-klasse 4.1 of 5.2 (Seveso II categorie 5):
Organische peroxiden en zelfontledende stoffen kennen een ruime toepassing in verschillende industriële sectoren (o.a. chemie, farmacie). Vanuit deze industrie wordt regelmatig de vraag gesteld voor de verwerking van beperkte hoeveelheden van deze peroxiden, zowel afkomstig uit de productie-eenheden als uit de laboratoria. De massa per aanlevering wordt beperkt tot 1 ton en 400 kg TNT-equivalent, verpakt in kleinere recipiënten (1 tot 5 l).
De producten dienen ADR conform aangeleverd te worden. Indien conform ADR temperatuurcontrole wordt opgelegd, worden de producten gekoeld aangeleverd. Producten met een lage SADT (< 40°C) dienen dubbelwandig en gekoeld op recipiëntniveau aangeleverd te worden.
4. Gedesensibiliseerde ontplofbare stoffen (niet Seveso-plichtig):
Gedesensibiliseerde ontplofbare stoffen kennen hun toepassing doorgaans in de farmaceutische industrie, verf- en pigmentindustrie, onderzoeksinstellingen en de chemische industrie. Het betreft verpakkingen van maximaal 50 kg in een totale hoeveelheid van max. 10 ton.

De effecten worden gemodelleerd gebruikmakend van het TNT-explosiemodel. Voor groep 3 wordt een TNT-equivalentie van 40% gehanteerd, gebaseerd op de waarde voor tert-butyl peroxybenzoaat uit *Safety Report Assessment Guide: Chemical Warehouses* van HSE. Voor de ontplofbare stoffen (2) van de ADR-klassen 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 en 1.6 (groep 2) wordt een TNT-equivalentie van 100% gebruikt.

Voor feestvuurwerk behorende tot ADR-klasse 1.4 (groep 1), wordt geen explosie berekend, gelet op de voorwaarden horende bij deze indeling. Immers dergelijke goederen dienen zodanig verpakt te worden dat een massa-explosie niet mogelijk is.

6.2.7 OVR/13/50 Borealis Polymers

De voorraadtank (T2811) die in het tweede compartiment van het peroxidegebouw staat opgesteld, bevat ongeveer 915 kg vloeibaar peroxide. Peroxiden kunnen onder bepaalde condities, bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur, door mechanische impact of door wrijving ontleden. Aan dergelijke producten wordt in de subselectiemethode een grenswaarde voor explosie toegekend waarbij de explosie-efficiëntie ten opzichte van TNT bepalend is voor de grootte van de grenswaarde. De explosie-efficiëntie is echter slechts gekend voor een beperkt aantal organische peroxiden. Algemeen wordt echter aangenomen dat de explosie-efficiëntie voor organische peroxiden tussen de 0,1 en 0,5 is gelegen (zie TWOL Ontplofbare stoffen). In het OVR wordt uitgegaan van de hoogste efficiëntie wat zonder meer conservatief wordt geacht.

Gelet op de typering van het vloeibare peroxide (type D) is het detoneren, snel deflagreren of thermisch tot een explosie komen van het peroxide in de vervoersverpakking (i.e. de eenheidsverpakkingen) niet aan de orde zodat in het geval van een brand in het compartiment met de eenheidsverpakkingen uitsluitend met de effecten van thermische straling moet rekening gehouden worden.

Het falen van de voorraadtank (T2811) kan tevens optreden als gevolg van een zelfversnellende ontbinding van het peroxide. Dergelijke zelfontbinding kan optreden wanneer de temperatuur in de tank oploopt tot boven de zelfversnellende ontbindingstemperatuur (SADT) van het peroxide die 80°C bedraagt. Om te vermijden dat dergelijke temperatuur wordt bereikt beschikt de houder over een koeling die automatisch wordt geactiveerd bij een temperatuur van 50°C. Wanneer de koeling niet of onvoldoende functioneert wordt automatisch een zgn. blow-down uitgevoerd waarbij de inhoud van de tank in een open dumpput wordt geloosd. De voorraadtank is bovendien voorzien van een veiligheidsklep om overmatige overdruk in de houder gecontroleerd af te leiden. Wanneer de betreffende maatregelen zouden falen, vat het niet uit te sluiten dat de houder onder relatief hoge druk komt te staan. Bij het begeven van de voorraadtank dient met betrekking tot de mogelijke effecten in de omgeving rekening gehouden te worden met de effecten van de drukgolf alsook met mogelijke effecten volgend uit de eventuele ontsteking van de brandbare ontledingsdampen (i.c. een vuurbal).

6.2.8 OVR/14/04 Buckman Laboratories

Het VAZO-magazijn wordt gebruikt voor de opslag van beperkte hoeveelheden (max. 550 kg) VAZO 67 (Seveso II categorie) wordt standaard per twee verpakkingen van 25 kg besteld en geleverd.

De TNT-equivalentie van VAZO 67 wordt bepaald op basis van de verbrandingswarmte van 31 MJ/kg en bedraagt ca. 214%.

De verbrandingswarmte van TNT (de energie die zou vrijkomen bij de verbranding van TNT met de zuurstof in de lucht) bedraagt ca. 14,5 MJ/kg. De explosie-energie van TNT – de energie die vrijkomt bij de explosieve ontbinding van TNT en die als referentiewaarde gebruikt wordt in de TNT-equivalentiemethode – bedraagt evenwel ca. 4,2 MJ/kg.

Bovendien wordt VAZO 67 gekenmerkt door de gevarenaanduiding H242 “brandgevaar bij verwarming”, wat impliceert dat deze stof zich niet massa-explosief gedraagt.

6.3 AANDACHTSPUNTEN

6.3.1 Vuurwerk

In het Vuurwerkbesluit (2002, zoals beschreven in TWOL *Ontplobbare stoffen*) wordt er ten aanzien van de aanpak een belangrijk onderscheid gemaakt tussen vuurwerk voor professioneel gebruik en het zgn. consumentenvuurwerk. Dit verschil is m.n. te wijten aan het feit dat voor professioneel vuurwerk er conservatief aangenomen wordt dat dit klasse 1.1. betreft en dat met het risico van een massa-explosie wordt rekening gehouden. Dit in tegenstelling tot consumentenvuurwerk (klasse 1.4S of 1.4G) waar dit scenario niet van toepassing is.

Er dient bijgevolg een duidelijk onderscheid gemaakt te worden tussen professioneel vuurwerk en consumentenvuurwerk.

6.3.2 TNT-equivalentie

De effecten van een massa-explosie worden doorgaans berekend met behulp van een TNT-equivalentiemodel. De TNT-equivalentiefactor is dan ook een belangrijke stoffeigenschap in de berekening van de effecten van ontplobbare stoffen.

De TWOL *Vlaamse selectiemethode* geeft het TNT-equivalent van een aantal ontplobbare stoffen. Voor organische peroxiden zou in eerste instantie uitgegaan kunnen worden van een waarde van 3 kg/kg TNT, wat een TNT-equivalentie van 33% impliceert.

In *het Operationeel Handboek Ongevalbestrijding Gevaarlijke Stoffen* (NVBR, 1995, zoals beschreven in TWOL *Ontplobbare stoffen*) worden een aantal richtlijnen gegeven voor het inschatten van de te verwachten schade t.g.v. de overdruk bij een explosie of een ontleding van organische peroxiden. Als vuistregel voor het explosiegevaar wordt aangenomen dat 1 ton peroxide overeenkomt met 0,1 tot 0,5 ton TNT [overeenkomend met een TNT-equivalentie van 10 tot 50%].

Er is bijgevolg noodzaak aan een eenduidige richtwaarde voor de TNT-equivalentie van organische peroxiden.

7 STOFTYPES MET EEN VERWAARLOOSBARE IMPACT

Op basis van de producteigenschappen worden in verschillende OVR's reeds een aantal producten/of gevaarcategorieën niet weerhouden voor de bepaling van de externe mensrisico's omwille van niet relevant. Opgemerkt wordt dat producten met meerdere gevaarseigenschappen telkens ten opzichte van de verschillende gevaarcategorieën geëvalueerd dienen te worden. Hieronder wordt opgenomen voor welke stoftypes in het desbetreffende OVR geargumenteerd werd dat er in het algemeen geen of een verwaarloosbare impact is op het externe mensrisico. Deze opsomming is niet exhaustief.

BENZEEN (OVR/12/13) – Zoals voor TDI werd een berekening uitgevoerd voor de vrijzetting van benzeen en de verdamping vanuit de plas. De dampspanning van benzeen ligt rond 10.000 Pa bij 20°C wat uiteraard veel hoger is in vergelijking met TDI doch de relevante concentratie voor een blootstelling van 30 minuten ligt ook veel hoger met 13.300 mg/m³. Uit de berekeningen volgt dat er geen relevante effecten van blootstelling aan toxische dampen door inademing te verwachten zijn voor een plas van benzeen.

CARCINOGENEN (OVR/13/40) – De carcinogene eigenschappen van carcinogenen worden op zich niet beschouwd in het kader van de bepaling voor externe mensrisico's gelet op het gegeven dat enkel acute effecten worden beschouwd.

GASFLESSEN (OVR/14/14) – De opslag van gasflessen met acetyleen of zuurstof voor intern gebruik (werkplaats) worden omwille van hun beperkt gevarenpotentieel en beperkte aanwezigheid op het bedrijfsterrein niet verder weerhouden in de kwantitatieve risicoanalyse.

TOXISCHE VASTE STOFFEN (OVR/13/40) – (zeer) Toxische vaste stoffen worden op basis van de aggregatietoestand en de beperkte hoeveelheden per verpakking niet verder weerhouden voor de risicoberekeningen. In deze categorie worden tevens de met naam genoemde categorieën inhaleerbare nikkelverbindingen en arseen (V) verbindingen beschouwd.

TOXISCHE VASTE STOFFEN (OVR/14/14) – Bij een vrijzetting van een (zeer) toxisch poeder uit eenheidsverpakkingen kan een gedeelte van het poeder opwaaien, zich verspreiden in de omgeving en bij inhalatie aanleiding geven tot letale effecten. Bij het falen van een of meerdere eenheidsverpakkingen met een vaste stof wordt de bronterm bepaald volgens de methodiek die wordt beschreven in *Onderzoek naar de Gevaren van de Opslag van Bestrijdingsmiddelen* (TNO, 1990). Hierbij wordt de hoeveelheid vrijgezette stof ingeschat door aan te nemen dat ca. 25% van de verpakkingen op een laadbord kunnen scheuren en dat uit de beschadigde verpakkingen ca. 10% van de inhoud kan vrijkomen. Verder wordt verondersteld dat 10% van de vrijgekomen hoeveelheid als stof opwaait en zich in de omgeving verspreidt. Alleen poederdeeltjes met een diameter kleiner dan 10 µm kunnen geïnhaleerd worden en op die wijze tot mogelijke letale effecten aanleiding geven. Aangenomen wordt dat de helft van de vrijkomende poederdeeltjes een diameter < 10 µm hebben. Uitgaande van bovenstaande veronderstellingen en rekening houdend met de maximale hoeveelheid aan cyaniden op een laadbord, nl. 1.000 kg, wordt de instantaan in de atmosfeer geloosde hoeveelheid (zeer) toxisch poeder die relevant is ten aanzien van de blootstelling door

inhalatie ingeschat op 1,25 kg. Vervolgens wordt op basis van een Gaussiaanse dispersieberekening de afstand berekend tot waarop 1%-letaliteit wordt bereikt.

MILIEUGEVAARLIJKE STOFFEN (OVR/13/40) – Milieugevaarlijke stoffen worden op zich niet als relevant beschouwd met betrekking tot de externe mensveiligheid. Ze worden, indien ontbinding optreedt tijdens brand, mee beschouwd in de ontwikkeling van de toxische rookgassen bij een magazijnbrand. De opslag van containers in open lucht van milieugevaarlijke stoffen zijn niet relevant in het kader van externe mensrisico's en worden bijgevolg niet beschouwd.

ORAAL EN/OF DERMAAL TOXISCHE STOFFEN (OVR/13/40) – (zeer) Toxische stoffen die enkel oraal en/of dermaal (zeer) toxisch zijn en niet (zeer) toxisch bij inademing, worden niet verder weerhouden voor de risicoberekeningen. Er worden immers geen externe effecten ten gevolge van deze producten verwacht.

OXIDERENDE STOFFEN (OVR/13/40) – Oxiderende stoffen worden op zich niet als relevant beschouwd met betrekking tot de externe veiligheid. Dit geldt eveneens voor de met naam genoemde categorieën kaliumnitraat (samengestelde meststoffen op basis van kaliumnitraat bestaande uit kaliumnitraat in de vorm van prills of granules) en ammoniumnitraat (meststoffen die in staat zijn tot zelfonderhoudende ontleding). Deze categorieën zijn immers niet ontvlambaar en kunnen ook niet leiden tot een deflagratie, detonatie of stofexplosie.

Indien oxiderende producten worden opgeslagen in een magazijn en indien ontbinding optreedt tijdens brand, worden ze mee beschouwd in de ontwikkeling van de toxische rookgassen bij een magazijnbrand.

Deze producten omvatten tevens organische peroxiden en zelfontledende stoffen, die niet tot de types A en B behoren of de R-zinnen R2/R3 dragen.

Een uitzondering betreft zuurstof omwille van de aggregatietoestand.

OXIDERENDE STOFFEN (OVR/14/14) – Een vrijzetting van een oxiderende stof uit een eenheidsverpakking ter hoogte van de betreffende verlaadkade geeft geen aanleiding tot ongevallen waarbij mogelijke letale effecten buiten het terrein van de inrichting kunnen optreden. Dergelijke stoffen hebben wel de eigenschap om de verbranding van ontvlambare stoffen in stand te houden of te bevorderen.

Voor de volledigheid wordt vermeld dat de met naam genoemde ammoniumnitraten enkel zijn ingedeeld als oxiderend. De betreffende producten worden aldus niet afzonderlijk weerhouden in de verdere risicoanalyse.

Deze onderbouwing gaat voorbij aan het feit dat ammoniumnitraat kan exploderen.

TDI (OVR/12/13) – De dampspanning van TDI bedraagt minder dan 6 Pa bij 35°C waardoor de concentratie aan TDI bij een verzadigde toestand rond ca. 400 mg/m³ ligt. Deze concentratie wordt echter alleen ter hoogte van het vloeistofoppervlak bereikt bij een evenwichtstoestand tussen de vloeistoffase en de dampfase. Uit een controleberekening volgt dat de te verwachten dampconcentraties in de omgeving beduidend lager liggen. Voor de deelinkuiping met de grootste oppervlakte bedraagt bijvoorbeeld het maximaal te verwachten verdampingsdebiet over de totale

plasoppervlakte ca. $1,6 \cdot 10^{-3}$ kg/s (weertype F15). Vanwege dit beperkte debiet wordt rekening houdend met menging in het windafwaarts gelegen recirculatiegebied van de kuipmuur in dit gebied een concentratie van een tiental mg/m³ gevonden wat bijna een ordegrrootte lager is dan de relevante blootstellingsconcentratie (LC_{01,30} = 84 mg/m³) voor TDI. Bijkomend dient vermeld dat de verdampingsdebieten geldig zijn voor verdamping uit een plas in een vrije omgeving zonder obstakels. Voor een plas binnen de inkuiping zal de aanwezigheid van de kuipmuren rond de plas ertoe bijdragen dat de dampen (zwaarder dan de omgevingslucht) binnen de inkuiping boven het vloeistofoppervlak blijven hangen wat de verdamping uit de plas zal bemoeilijken. De gegeven verdampingsdebieten zijn in die zin te aanzien als een eerder conservatieve schatting voor de betrokken situatie in de inkuiping. Effecten in de omgeving door inhalatie van dampen van TDI zijn er aldus niet te verwachten. Dit geldt ook voor lekken bij overslag. Voor een lek waarbij het TDI in het water terechtkomt, zal dit gedeeltelijk kunnen polymeriseren. Het belangrijkste product dat hierbij vrijkomt, is CO₂. Dit impliceert aldus dat naar verlading van schepen toe waarbij TDI in het water zou terecht komen, er ook geen relevante blootstelling door inademing van toxische dampen verwacht wordt. Vanwege de zeer geringe dampspanning van het TDI zijn er hiervoor geen effecten van blootstelling door inhalatie in de omgeving te verwachten bij ongevalsscenario's met deze zeer toxische stof.

Het is opmerkelijk dat TDI als representatieve stof gebruikt wordt in OVR/12/04 en dat er hier geargumenteerd wordt (op basis van effectberekeningen) dat effecten in de omgeving niet te verwachten zijn.

Er worden minstens voor volgende (types) stoffen discrepanties gevonden tussen verschillende OVR's: (zeer) toxische vaste stoffen, ammoniumnitraat en TDI.

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Representatieve stof QRA		Hoeveelheid (m ³)
			Naam	TV	
Groep T0	TV > 1.500	acroleïne	methacrylonitril	2392	5.000
Groep T1	1500 ≥ TV > 500	crotonaldehyde (cis-)			0
Groep T2	500 ≥ TV > 200	acrylonitril			50.000
Groep T3	200 ≥ TV > 75	benzotrichloride			0
Groep T4	75 ≥ TV > 20	methylchloroacetaat			470.000
Groep T5	TV ≤ 20	-			n.b.

Tabel 8.1.1 Representatieve stoffen en hun hoeveelheden gebruikt in de QRA

In de omgevingsvergunning dient voor dit voorbeeld als bijzondere voorwaarde opgenomen te worden: "In de atmosferische opslagtanks mogen maximaal volgende hoeveelheden acuut inhalatoir toxische vloeistoffen opgeslagen worden:"

Indelingscriteria		Maximale hoeveelheid (m ³)	
TV > TV _{max}	TV > 2392	0	0
TV _{max} ≥ TV > 500	2392 ≥ TV > 500	5.000	T0 – T1
TV _{max} ≥ TV > 200	2392 ≥ TV > 200	55.000	T0 – T2
TV _{max} ≥ TV > 75	2392 ≥ TV > 75	55.000	T0 – T3
TV _{max} ≥ TV > 15	2392 ≥ TV > 15	525.000	T0 – T4
TV ≤ 15	TV ≤ 15	525.000	T0 – T5

Tabel 8.1.2 Maximaal aanwezige hoeveelheden acuut inhalatoir toxische vloeistoffen in opslag in atmosferische tanks

8.2 ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN

Voor stoffen of mengsels uit rubrieken P5a of P5c dient in het OVR voor elk van de vier groepen F0 – F3 met bijhorende referentiestoffen vermeld te worden met welke totale hoeveelheid in de risicoberekeningen voor de atmosferische opslagtanks is rekening gehouden. Voor de hoogst vertegenwoordigde groep (met het laagste groepsnummer) dient bijkomend expliciet vermeld te worden met welke stof gerekend is en wat de ontvlambaarheidsindex van deze stof is. Voor de lagere groepen dient gerekend te worden met de referentiestof, zodat dit niet expliciet dient vermeld te worden.

Wanneer de op- of overslag van ontvlambare vloeistoffen cat. 1 of 2 met minder dan 5 koolstofatomen niet wordt uitgesloten, dan dient verder te worden aangegeven met welke referentiestof de plasbrandberekeningen worden uitgevoerd voor deze groep van ontvlambare stoffen.

In onderstaande tabel wordt een voorbeeld gegeven voor een inrichting met een opslagcapaciteit van 1.400.000 m³ in atmosferische tanks.

Indelingsgroep	Indelingscriteria	Referentiestof	Representatieve stof QRA		Hoeveelheid (m ³)
			Naam	OV	
Groep F0	OV > 350	iso-pentaaan	iso-pentaaan	790	550.000
Groep F1	350 ≥ OV > 150	cyclopenteen			150.000
Groep F2	150 ≥ OV > 70	n-hexaaan			0
Groep F3	OV ≤ 70	n-heptaaan			700.000

Tabel 8.2.1 Representatieve stoffen en hun hoeveelheden gebruikt in de QRA (scenario's: wolkbrand en gaswolkexplosie)

De inrichting wenst tevens 500.000 m³ onvlambare vloeistoffen cat. 1 of 2 met minder dan 5 koolstofatomen te vergunnen, waarvan 100.000 m³ methanol. Voor deze vloeistoffen, dienen andere representatieve stoffen te worden geselecteerd voor het scenario van een plasbrand. Specifiek voor de plasbrandberekeningen zullen onderstaande representatieve stoffen worden gebruikt in de QRA

Indelingsgroep	Referentiestof	Representatieve stof QRA	Hoeveelheid (m ³)
Groep PF0	diethylether	diethylether	400.000
Groep F1	propanol (iso-)	-	0
Groep F2	methanol	methanol	100.000
Ontvlambare vloeistoffen met 5 of meer koolstofatomen (roetende vlam)	isopentaaan	iso-pentaaan	150.000
	cyclopenteen	cyclopenteen	150.000
	n-heptaaan	n-heptaaan	600.000

Tabel 8.2.2 Representatieve stoffen en hun hoeveelheden gebruikt in de QRA (scenario: plasbrand)

In de omgevingsvergunning dient voor dit voorbeeld als bijzondere voorwaarde opgenomen te worden: "In de atmosferische opslagtanks mogen maximaal volgende hoeveelheden onvlambare vloeistoffen opgeslagen worden:"

Indelingscriteria		Maximale hoeveelheid (m ³)	
OV > OV _{max}	OV > 790	0	0
OV _{max} ≥ OV > 350	790 ≥ OV > 350	550.000	F0
OV _{max} ≥ OV > 150	790 ≥ OV > 150	700.000	F0 – F1
OV _{max} ≥ OV > 70	790 ≥ OV > 70	700.000	F0 – F2
OV ≤ 70	OV ≤ 70	1.400.000	F0 – F3

Indelingscriteria	Maximale hoeveelheid (m ³)	
Ontvlambare vloeistoffen met minder dan 5 koolstofatomen	400.000	PF0
Ontvlambare vloeistoffen met minder dan 5 koolstofatomen (incl. ethanol en propanol)	400.000	PF0 – PF1
Ontvlambare vloeistoffen met minder dan 5 koolstofatomen (incl. methanol)	500.000	PF0 – PF2

Tabel 8.2.3 Maximaal aanwezige hoeveelheden ontvlambare vloeistoffen in opslag in atmosferische tanks

9 REFERENTIES

- Baker W.E., Kulesz J.J., Ricker R.E., Bessey R.L., Westine P.S., Parr V.B. en Oldham G.A. (1977),** Workbook for Predicting Pressure Wave and Fragment Effects of Exploding Propellant Tanks and Gas Storage Vessels, NASA CR-134906.
- Baker W.E., Cox P.A., Westine P.S., Kulesz J.J., Strehlow R.A. (1983),** Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Chamberlain G.A. (1987),** Developments in design methods for predicting thermal radiation from flares, Chem. Eng. Research & Design, No. 69.
- Cook J.et al. (1989),** A comprehensive program for calculation of flame radiation levels, First Int. Conf. on Loss of Containment, 12-14 September 1989, London (UK).
- Departement Omgeving (2019),** Handboek Risicoberekeningen, versie 2.0 dd. 01/01/2019.
- Directie van de chemische risico's (2002), Checklist Vloeibare brandbare gassen.**
- Ermak, D.L. (1990),** User's manual for SLAB: an atmospheric dispersion model for denser-than-air releases, Report UCRL-MA-106607, Lawrence Livermore National Laboratory, California
- Kunsch (1998),** Two-layer integral model for calculating the evaporation rate from a liquid surface, Journal of Hazardous Materials 59, 167–187.
- Martinsen W.E. en Marx, J.D. (1999),** An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs, International Conference and Workshop on Modeling Consequences of Accidental Releases of Hazardous Materials, San Francisco, USA.
- RIVM (2011),** Concept rekenmethode voor stuwadoorsbedrijven.
- van den Bosch (2005),** Pool evaporation, Chapter 3, Methods for the calculation of Physical Effects due to Releases of Hazardous Materials (Liquids and Gases), VROM.
- Wayne F.D. (1990),** An economical formula for calculating atmospheric infrared transmissivities, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 4, 86 – 92.
- Webber et al. (2009),** LNG source term models for hazard analysis: a review of the state-of-the-art and an approach to model assessment (Final report), The Fire Protection Research Foundation.



10 BIJLAGEN

10.1 CASESTUDIE 'ONTVLAMBARE VLOEISTOFFEN' MET INBEGRIIP VAN HET SCENARIO PLASBRAND

10.1.1 Bestudeerde stoffen

Zie tabel 2.3.2.1.1 in § 2.3.2.1 van het hoofdrapport.

10.1.2 Bestudeerde installatie-onderdelen

Zie § 2.3.2.2 van het hoofdrapport.

10.1.3 Rekenmethode en aangewende modellen

Zie § 2.3.2.3 en 2.3.1.3 van het hoofdrapport.

PLASBRAND – De effecten van een plasbrand worden in onderhavig rapport berekend in overeenstemming met module 19 (Thermische straling en direct vlamcontact) van het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*.

De belangrijkste karakteristieken van de brand (o.a. de lengte L , de hellingshoek θ en de stralingsflux E van de vlam) worden daarbij bepaald in functie van het specifieke verbrandingsdebiet van de stof en een karakteristieke diameter van de plas met behulp van volgende correlaties:

$$\frac{L}{D} = 55 \cdot \left(\frac{\dot{m}_b}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,67} \cdot \left(\frac{u_w}{(g \cdot \dot{m}_b \cdot D / \rho_a)^{1/3}} \right)^{-0,21} \quad (10.1.3.1)$$

$$\frac{\tan \theta}{\cos \theta} = 3,13 \cdot Fr^{0,431} \quad \text{met} \quad Fr = \frac{u_w^2}{g \cdot D} \quad (10.1.3.2)$$

$$E = E_{max} \cdot \exp(-S \cdot D) + E_{roet} \cdot (1 - \exp(-S \cdot D)) \quad \text{indien} \quad C \geq 5 \quad (10.1.3.3)$$

$$E = E_{max} \cdot (1 - \exp(-S \cdot D)) \quad \text{indien} \quad C < 4 \quad (10.1.3.4)$$

waarin m_b (kg/m².s) het specifieke verbrandingsdebiet is, D (m) de equivalente vlamdiameter⁹², u_w (m/s) de heersende windsnelheid, ρ_a (kg/m³) de luchtdichtheid, g (m/s²) de valversnelling, E_{max} (W/m²) de maximale stralingswarmteflux van de heldere delen van de vlam, S (m⁻¹) een extinctiecoëfficiënt waarvoor een standaardwaarde van 0,12 m⁻¹ wordt aangenomen en C het aantal koolstofatomen in de brutostructuurformule van de stof⁹³.

⁹² De equivalente vlamdiameter wordt berekend op basis van de representatieve plasoppervlakte die volgt uit de berekening van het representatieve verdampingsdebiet.

⁹³ Volgende van de bestudeerde vloeistoffen hebben minder dan 5 koolstofatomen: isopropylamine, diethylether, dimethylsulfide, ethylmercaptaan, isopropylemercaptaan, aceton, tetrahydrofuraan, ethanol, ethylacetaat, isopropanol, methanol, methylethylketon en vinylacetaat..

Het specifiek verbrandingsdebiet, m_b , wordt gelijkgesteld aan het maximale verbrandingsdebiet $m_{b,max}$ (kg/m².s):

$$\dot{m}_{b,max} = 1,27 \times 10^{-6} \cdot \rho_l \cdot \left(\frac{\Delta H_c}{\Delta H_v + c_p \cdot (T_b - T_p)} \right) \quad (10.1.3.5)$$

waarin ρ_l (kg/m³) de vloeistofdichtheid is, ΔH_c (J/kg) de verbrandingswarmte, ΔH_v (J/kg) de verdampingswarmte, T_b (K) de atmosferische kooktemperatuur, T_p (K) de platemperatuur en c_p (J/kg.K) de soortelijke warmte bij constante druk.

De maximale stralingswarmteflux E_{max} voor de heldere delen van de vlam bedraagt 140 kW/m² voor vloeistoffen, m.u.v. methanol waarvoor een waarde van 70 kW/m² wordt gebruikt⁹⁴.

Onderstaande tabel geeft het berekende verbrandingsdebiet en de stralingswarmteflux van de vlam voor de verschillende ontvlambare vloeistoffen.

stofnaam	m_b [kg/m ² s]	E_{max} [kW/m ²]	E (Ø = 10 m) [kW/m ²]	E (Ø = 30 m) [kW/m ²]
pentaan (iso-)	9,26 .10 ⁻²	140	56	23
penteen (1-)	9,02 .10 ⁻²	140	56	23
isopreen	8,69 .10 ⁻²	140	56	23
pentaan (n-)	8,46 .10 ⁻²	140	56	23
neohexeen	9,60 .10 ⁻²	140	56	23
diethylether	7,25 .10 ⁻²	140	140	140
propylamine (iso-)	5,90 .10 ⁻²	140	140	140
cyclopenteen	9,03 .10 ⁻²	140	56	23
dimethylsulfide	6,09 .10 ⁻²	140	140	140
neohexaan	9,10 .10 ⁻²	140	56	23
ethylmercaptaan	6,15 .10 ⁻²	140	140	140
cyclopentaan	8,75 .10 ⁻²	140	56	23
methyl-tert-butylether	7,68 .10 ⁻²	140	56	23
propylmercaptaan (iso-)	6,81 .10 ⁻²	140	140	140
hexeen (1-)	7,90 .10 ⁻²	140	56	23
hexaan (n-)	7,60 .10 ⁻²	140	56	23
ethyltert-butylether	7,58 .10 ⁻²	140	56	23
aceton	4,54 .10 ⁻²	140	140	140
tetrahydrofuraan	6,76 .10 ⁻²	140	140	140
benzeen	8,10 .10 ⁻²	140	56	23

⁹⁴ Ook voor stoffen met hetero-atomen, waarvoor de verbrandingswarmte over het algemeen veel lager is (o.a. sulfiden en mercaptanen) wordt eenzelfde maximale warmtestralingsflux gehanteerd.

stofnaam	m_b [kg/m ² s]	E_{max} [kW/m ²]	E (Ø = 10 m) [kW/m ²]	E (Ø = 30 m) [kW/m ²]
cyclohexaan	$8,32 \cdot 10^{-2}$	140	56	23
methylethylketon	$5,14 \cdot 10^{-2}$	140	140	140
triethylamine	$7,29 \cdot 10^{-2}$	140	56	23
vinylacetaat	$5,13 \cdot 10^{-2}$	140	140	140
ethylacetaat	$5,04 \cdot 10^{-2}$	140	140	140
heptaan (n-)	$6,98 \cdot 10^{-2}$	140	56	23
propylacetaat (iso-)	$5,78 \cdot 10^{-2}$	140	56	23
methanol	$1,54 \cdot 10^{-2}$	70	70	70
propanol (iso-)	$3,22 \cdot 10^{-2}$	140	140	140
ethanol	$2,49 \cdot 10^{-2}$	140	140	140

Tabel 10.1.3.1 Berekend verbrandingsdebiet en stralingswarmteflux van de vlam voor de bestudeerde vloeistoffen

De invallende stralingswarmteflux, I , in de omgeving van de brand wordt tot slot berekend als:

$$I = \tau \cdot F \cdot E \quad (10.1.3.7)$$

waarin τ (-) de transmissiviteit van de omgevende lucht die wordt berekend met de correlatie van Wayne, F (-) de viewfactor en E (kW/m²) de stralingswarmteflux van de vlam is.

SCHADEFUNCTIES – De schadefuncties en -criteria die worden toegepast bij de uitwerking van de casus worden weergegeven in onderstaande tabel.

Ongeval-scenario	Fysisch effect	Schadefunctie	Criterium voor maximale effectafstand (1% letaliteit)
Plasbrand	Warmtestraling	$Pr = -36,38 + 2,56 \ln(Q^{4/3} t)$ 'Q': warmteflux [W/m ²] gedurende tijd 't' [s]	$(Q^{4/3} t) = 4,2 \cdot 10^6 (W/m^2)^{4/3} \cdot s$ of $Q = 10 \text{ kW/m}^2$ als $t = 20 \text{ s}$
	Verbranding	100% in de brandhaard	Rand van de brandende plas
Wolkbrand	Verbranding	100% in de wolk 0% buiten de wolk	Afstand tot LEL op het moment dat de wolk een maximale oppervlakte heeft
Gaswolk-explosie	Overdruk	Lineair verloopt tussen: 56 mbar - 175 mbar (1-10%) 175 mbar - 550 mbar (10-100%)	$p = 56 \text{ mbar}$

Tabel 10.1.3.2 Aangewende schaderelaties bij de bepaling van het plaatsgebonden mensrisico

10.1.4 Resultaten van de effect- en risicoberekeningen

In onderstaande paragrafen wordt het berekende risico weergegeven voor de bestudeerde vloeistoffen en installaties van de casestudie 'ontvlambare vloeistoffen', waarbij in tegenstelling tot de resultaten die zijn opgenomen in § 2.3.2.5 van dit rapport ook plasbrandscenario's werden beschouwd. Naast de afstanden tot een risiconiveau van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ worden in de tabellen ook de effectafstanden voor het scenario van een plasbrand weergegeven voor één geselecteerd vrijzettingsscenario. De overeenkomstige effectafstanden voor het scenario van een wolkbrand en een gaswolkexplosie zijn terug te vinden in § 2.3.2.5 van het hoofdrapport.

10.1.4.1 Tankenparken

Tabellen 10.1.4.1 t.e.m. 10.1.4.7 tonen de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario: groot lek – plasbrand) voor de zeven tankenparken die in beschouwing worden genomen in deze casestudie. De bestudeerde stoffen in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende waarde van de ontvlambaarheidsindex OV_1 . De referentiestoffen die in § 2.3.2.6 naar voor werden geschoven voor de verschillende indelingsgroepen, worden in onderstaande tabellen vet gedrukt. De stoffen die volledig helder branden (met minder dan 5 koolstofatomen) worden aangeduid in het rood.

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	34	66	97	153	35	45	45
penteen (1-)	33	63	91	144	35	45	45
isopreen	32	55	77	126	35	45	45
pentaan (n-)	32	54	74	124	35	45	45
neohexeen	32	53	70	118	35	45	45
diethylether	83	95	102	108	100	100	100
propylamine (iso-)	76	87	95	107	95	95	90
cyclopenteen	32	43	55	101	35	45	45
dimethylsulfide	78	89	96	101	95	95	90
neohexaan	32	42	52	95	35	45	45
ethylmercaptaan	78	89	96	101	95	95	90
cyclopentaan	31	40	45	51	35	45	45
methyl-tert-butylether	31	38	44	48	35	45	45
propylmercaptaan (iso-)	82	93	100	105	100	100	95
hexeen (1-)	30	38	44	48	35	45	45
hexaan (n-)	30	38	44	48	35	45	45
ethyltert-butylether	30	38	44	48	35	45	45

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
aceton	72	83	89	94	90	85	85
tetrahydrofuraan	82	94	101	106	100	100	100
benzeen	30	39	45	48	35	45	45
cyclohexaan	30	39	44	48	35	45	45
methylethylketon	76	87	94	99	90	90	90
triethylamine	30	38	44	48	35	45	45
vinylacetaat	77	87	94	99	95	95	90
ethylacetaat	76	87	93	99	90	90	90
heptaan (n-)	30	38	44	48	35	45	45
propylacetaat (iso-)	30	38	43	47	35	40	45
methanol	42	47	50	53	50	50	50
propanol (iso-)	60	68	73	77	75	70	70
ethanol	59	67	72	76	75	70	65

Tabel 10.1.4.1 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 9.000 m³ (6x 1.500 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	55	107	153	232	50	55	60
penteen (1-)	50	101	140	219	50	55	60
isopreen	43	88	120	193	50	55	60
pentaan (n-)	43	87	116	187	50	55	60
neohexeen	44	85	110	181	50	60	60
diethylether	109	124	134	163	130	135	130
propylamine (iso-)	102	116	126	166	120	125	120
cyclopenteen	43	70	92	156	50	60	60
dimethylsulfide	103	117	126	135	125	125	120
neohexaan	43	68	88	149	50	60	60
ethylmercaptaan	103	117	126	132	125	125	120
cyclopentaan	42	62	82	139	50	60	60
methyl-tert-butylether	42	56	70	116	50	55	60
propylmercaptaan (iso-)	107	122	131	136	130	130	130
hexeen (1-)	40	50	56	61	50	55	60

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
hexaan (n-)	40	49	56	60	50	55	60
ethyltert-butylether	40	50	56	60	50	55	60
aceton	96	109	117	123	115	115	110
tetrahydrofuraan	108	123	131	136	130	130	130
benzeen	40	50	57	61	50	60	60
cyclohexaan	40	50	57	61	50	60	60
methylethylketon	101	115	123	129	120	120	120
triethylamine	40	49	56	60	50	55	60
vinylacetaat	101	115	123	129	120	120	120
ethylacetaat	101	114	123	129	120	120	115
heptaan (n-)	40	49	56	60	50	55	60
propylacetaat (iso-)	39	48	55	58	45	55	55
methanol	56	62	67	70	65	65	65
propanol (iso-)	80	90	97	102	100	95	90
ethanol	79	89	95	100	95	90	90

Tabel 10.1.4.2 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 18.000 m³ (6x 3.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaaan (iso-)	77	155	235	324	70	80	85
penteen (1-)	70	149	218	307	70	80	85
isopreen	59	130	184	272	70	80	85
pentaaan (n-)	58	129	178	268	70	80	85
neohexeen	60	128	168	258	70	80	85
diethylether	134	155	170	234	160	170	170
propylamine (iso-)	129	148	163	232	155	160	160
cyclopenteen	59	105	139	221	70	80	85
dimethylsulfide	131	149	160	188	155	160	160
neohexaan	58	105	133	218	70	80	85
ethylmercaptaan	130	148	160	167	155	160	160
cyclopentaaan	58	94	121	203	70	80	85
methyl-tert-butylether	57	87	107	173	70	80	85

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
propylmercaptaan (iso-)	134	153	165	173	160	165	165
hexeen (1-)	57	71	86	147	70	80	85
hexaan (n-)	56	68	78	116	70	80	85
ethyltert-butylether	55	68	78	100	70	80	85
aceton	126	142	152	160	150	150	150
tetrahydrofuraan	136	154	165	174	160	165	165
benzeen	56	69	78	84	70	80	85
cyclohexaan	55	69	78	84	70	80	85
methylethylketon	131	148	159	165	155	160	155
triethylamine	56	69	77	83	70	80	85
vinylacetaat	131	149	159	165	155	160	155
ethylacetaat	131	148	158	165	155	160	155
heptaan (n-)	55	68	77	83	70	80	85
propylacetaat (iso-)	54	65	72	76	70	75	75
methanol	74	82	87	91	90	85	85
propanol (iso-)	104	118	127	133	130	125	120
ethanol	103	116	125	131	125	120	120

Tabel 10.1.4.3 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 36.000 m³ (6x 6.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	88	191	297	387	85	95	100
penteen (1-)	84	181	274	365	85	95	100
isopreen	70	160	230	325	85	95	100
pentaan (n-)	70	158	221	321	85	95	100
neohexeen	71	159	208	312	85	95	100
diethylether	150	176	205	280	190	200	195
propylamine (iso-)	144	167	201	276	185	185	185
cyclopenteen	67	130	172	268	85	95	100
dimethylsulfide	144	167	182	228	185	185	185
neohexaan	67	132	164	266	85	95	100
ethylmercaptaan	144	167	181	205	185	185	185

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
cyclopentaan	66	117	149	243	85	95	100
methyl-tert-butylether	66	110	132	213	85	95	100
propylmercaptaan (iso-)	148	172	186	195	185	195	195
hexeen (1-)	65	87	104	178	85	95	100
hexaan (n-)	64	80	91	150	85	95	100
ethyltert-butylether	64	79	90	131	85	95	100
aceton	139	160	172	179	175	175	175
tetrahydrofuraan	149	173	186	195	185	195	195
benzeen	63	78	89	96	85	95	100
cyclohexaan	63	78	89	96	85	95	100
methylethylketon	143	165	177	186	180	185	185
triethylamine	63	78	89	95	85	95	100
vinylacetaat	143	165	178	187	180	185	185
ethylacetaat	143	164	177	185	180	185	185
heptaan (n-)	63	78	89	94	85	95	100
propylacetaat (iso-)	62	76	86	92	85	95	95
methanol	84	94	101	105	105	105	100
propanol (iso-)	120	136	147	154	150	150	145
ethanol	118	134	144	151	150	145	140

Tabel 10.1.4.4 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 60.000 m³ (6x 10.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaaan (iso-)	85	242	352	445	95	105	110
penteen (1-)	82	229	325	421	95	105	105
isopreen	78	201	272	374	95	100	105
pentaaan (n-)	78	196	264	366	95	100	105
neohexeen	79	196	247	356	95	105	110
diethylether	163	194	240	323	205	215	210
propylamine (iso-)	155	182	239	321	195	200	200
cyclopenteen	72	160	203	304	95	105	110
dimethylsulfide	155	182	201	263	195	200	200

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
neohexaan	72	159	192	296	95	105	110
ethylmercaptaan	155	182	199	239	195	200	200
cyclopentaaan	72	142	175	276	95	105	110
methyl-tert-butylether	72	131	155	237	90	100	105
propylmercaptaan (iso-)	160	188	206	218	200	210	210
hexeen (1-)	71	105	122	203	95	100	105
hexaan (n-)	71	91	104	172	95	100	105
ethyltert-butylether	71	89	101	153	95	100	105
aceton	150	173	187	196	185	190	190
tetrahydrofuraan	162	189	206	217	200	210	210
benzeen	70	87	98	106	95	105	110
cyclohexaan	69	86	98	106	95	105	110
methylethylketon	155	179	194	204	195	200	195
triethylamine	70	86	98	105	90	100	105
vinylacetaat	155	179	194	205	195	200	195
ethylacetaat	155	178	194	204	195	200	195
heptaan (n-)	70	86	98	105	90	100	105
propylacetaat (iso-)	69	85	96	104	90	100	105
methanol	93	105	112	117	115	110	110
propanol (iso-)	130	150	163	170	165	160	155
ethanol	129	148	161	169	160	160	155

Tabel 10.1.4.5 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 80.000 m³ (4x 20.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaaan (iso-)	98	285	430	517	105	115	120
penteen (1-)	94	271	397	488	105	115	120
isopreen	89	236	333	431	105	115	120
pentaaan (n-)	89	234	319	428	105	115	120
neohexeen	90	232	298	409	105	115	120
diethylether	182	221	295	376	230	240	235
propylamine (iso-)	172	206	291	372	215	225	220

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
cyclopenteen	81	191	246	348	105	115	120
dimethylsulfide	172	203	239	303	220	225	220
neohexaan	82	190	232	345	105	115	120
ethylmercaptaan	170	203	224	280	220	225	220
cyclopentaan	81	169	211	320	105	115	120
methyl-tert-butylether	80	157	186	277	105	115	120
propylmercaptaan (iso-)	177	210	230	247	225	235	235
hexeen (1-)	79	125	147	239	105	115	120
hexaan (n-)	79	109	126	206	105	115	120
ethyltert-butylether	79	104	119	183	105	115	120
aceton	163	191	208	220	210	215	210
tetrahydrofuraan	178	211	230	243	225	235	235
benzeen	78	97	111	119	105	115	120
cyclohexaan	77	97	111	119	105	115	120
methylethylketon	168	198	215	225	215	220	215
triethylamine	78	97	110	118	105	115	120
vinylacetaat	168	198	216	226	215	220	220
ethylacetaat	168	198	215	225	215	220	215
heptaan (n-)	78	97	110	118	105	115	120
propylacetaat (iso-)	77	96	108	115	105	115	115
methanol	105	119	127	133	130	125	125
propanol (iso-)	147	169	183	192	185	180	175
ethanol	145	167	180	189	180	180	175

Tabel 10.1.4.6 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 140.000 m³ (6x 35.000 m³)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	112	346	544	644	120	130	135
penteen (1-)	108	330	502	595	120	130	135
isopreen	103	288	419	512	120	130	135
pentaan (n-)	103	287	407	508	120	130	135
neohexeen	104	286	379	489	120	130	135

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
diethylether	207	265	374	450	260	270	265
propylamine (iso-)	195	246	368	443	245	255	245
cyclopenteen	95	236	310	418	120	130	135
dimethylsulfide	196	231	303	366	250	255	250
neohexaan	95	235	294	416	120	135	140
ethylmercaptaan	194	230	273	340	250	255	250
cyclopentaan	93	211	266	382	120	130	140
methyl-tert-butylether	93	197	234	331	120	130	135
propylmercaptaan (iso-)	202	241	263	292	260	270	265
hexeen (1-)	92	158	184	293	120	130	140
hexaan (n-)	92	139	158	255	120	130	140
ethyltert-butylether	92	132	151	228	120	135	140
aceton	185	217	237	250	240	240	240
tetrahydrofuraan	204	242	265	281	260	270	265
benzeen	91	113	128	138	120	135	140
cyclohexaan	91	113	128	138	120	135	140
methylethylketon	192	227	248	263	245	255	250
triethylamine	91	112	128	136	120	135	140
vinylacetaat	193	228	249	263	245	255	250
ethylacetaat	192	227	247	262	245	255	250
heptaan (n-)	91	112	127	136	120	135	140
propylacetaat (iso-)	91	111	125	134	120	130	135
methanol	122	138	147	154	150	145	145
propanol (iso-)	170	195	210	221	210	210	205
ethanol	168	192	207	218	210	205	200

Tabel 10.1.4.7 Effect- en risicoafstanden voor een tankenpark met een capaciteit van 200.000 m³ (4x 50.000 m³)

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat het gevaaren- of risicopotentieel van een (zeer) licht ontvlambare vloeistof (incl. plasbranden) goed kan worden ingeschat met de vooropgestelde ontvlambaarheidsindices en representatieve stoffen, zolang bij de bepaling van de stralingswarmteflux van de vlam wordt uitgegaan van een roetende vlam.

Voor de vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een volledig heldere vlam (vloeistoffen met minder dan vijf koolstofatomen) zijn de effecten van plasbrand⁹⁵ minstens dubbel zo groot als voor de vloeistoffen die resulteren in een roetende vlam. Bovendien domineren de grote effecten van plasbrand in dat geval het plaatsgebonden mensrisico, waardoor de ontvlambaarheidsindices die zijn afgeleid in § 2.3.2.4 niet langer representatief zijn voor het berekende risico- en gevarenpotentieel van deze vloeistoffen. De grootste plasbrandeffecten worden bekomen voor diethylether, isopropylmercaptaan en tetrahydrofuraan.

10.1.4.2 Stelplaats tankcontainers

Tabel 10.1.4.8 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario: groot lek – plasbrand) voor een opstelplaats met 300 tankcontainers gevuld met (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen. De bestudeerde stoffen in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende waarde van de ontvlambaarheidsindex OV_1 .

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	25	38	63	88	35	40	45
penteen (1-)	25	36	60	86	35	40	45
isopreen	24	34	51	65	35	40	45
pentaan (n-)	24	34	49	63	35	40	45
neohexeen	24	34	47	55	35	40	45
diethylether	63	81	91	97	95	95	95
propylamine (iso-)	60	75	85	91	85	85	85
cyclopenteen	25	33	40	45	35	40	45
dimethylsulfide	60	76	85	91	85	85	85
neohexaan	25	33	40	44	35	40	45
ethylmercaptaan	60	75	84	91	85	85	80
cyclopentaan	24	32	39	44	35	40	45
methyl-tert-butylether	24	31	38	43	35	40	45
propylmercaptaan (iso-)	63	80	89	96	95	90	85
hexeen (1-)	25	32	38	43	35	40	45
hexaan (n-)	25	32	39	44	35	40	45
ethyltert-butylether	25	32	38	44	35	40	45
aceton	57	71	79	85	85	80	80

⁹⁵ Zoals berekend volgens het Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)

Product	Risicoafstanden [m]				groot lek - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
tetrahydrofuraan	64	81	90	97	95	95	90
benzeen	25	32	39	44	35	40	45
cyclohexaan	25	32	39	44	35	40	45
methylethylketon	60	75	84	90	85	85	85
triethylamine	25	32	39	44	35	40	45
vinylacetaat	60	75	84	90	85	80	80
ethylacetaat	25	32	39	44	85	85	85
heptaan (n-)	25	32	38	42	35	40	40
propylacetaat (iso-)	34	41	45	48	45	45	45
methanol	48	59	65	70	70	65	65
propanol (iso-)	48	58	64	69	70	65	60
ethanol	57	71	79	85	85	80	80

Tabel 10.1.4.8 Effect- en risicoafstanden voor een stelplaats met 300 tankcontainers

Opnieuw blijkt dat het gevaren- of risicopotentieel van een (zeer) licht ontvlambare vloeistof (incl. plasbranden) goed kan worden ingeschat met de vooropgestelde ontvlambaarheidsindices en representatieve stoffen, zolang bij de bepaling van de stralingswarmteflux van de vlam wordt uitgegaan van een roetende vlam.

Voor de vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een volledig heldere vlam (vloeistoffen met minder dan vijf koolstofatomen) zijn de grote effecten van plasbrand dominant in het plaatsgebonden mensrisico, waardoor de ontvlambaarheidsindices niet langer representatief zijn voor deze vloeistoffen.

10.1.4.3 Verlaadslang schepen

Tabel 10.1.4.9 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁵/j, 10⁻⁶/j, 10⁻⁷/j en 10⁻⁸/j en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario: plasbrand na breuk van de slang met een werkende noodstop) voor een 6" flexibele slang die gedurende 2.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het lossen van schepen. De bestudeerde stoffen in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende waarde van de ontvlambaarheidsindex OV₁.

Product	Risicoafstanden [m]				breuk slang (werkende noodstop) - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	142	395	422	657	40	45	50
penteen (1-)	136	391	417	642	40	50	50

Product	Risicoafstanden [m]				breuk slang (werkende noodstop) - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
isopreen	123	358	382	603	40	50	50
pentaaan (n-)	118	345	369	581	40	45	50
neohexeen	118	334	358	564	40	50	50
diethylether	200	319	345	517	115	115	110
propylamine (iso-)	188	294	314	508	105	100	100
cyclopenteen	104	280	298	490	40	50	50
dimethylsulfide	196	260	281	426	110	105	105
neohexaan	102	269	288	467	40	45	50
ethylmercaptaan	194	237	254	396	110	105	105
cyclopentaaan	95	245	263	443	40	45	50
methyl-tert-butylether	96	230	246	384	40	45	50
propylmercaptaan (iso-)	207	242	263	337	115	110	110
hexeen (1-)	99	190	205	354	45	50	50
hexaaan (n-)	99	164	179	307	40	50	50
ethyltert-butylether	97	150	164	263	40	50	50
aceton	194	225	243	257	105	100	100
tetrahydrofuraan	206	241	261	271	115	115	110
benzeen	92	113	127	135	40	50	50
cyclohexaaan	91	112	126	134	40	45	50
methylethylketon	204	237	257	268	110	105	105
triethylamine	98	120	135	143	45	50	50
vinylacetaat	189	219	238	249	110	110	105
ethylacetaat	194	226	244	256	110	105	105
heptaaan (n-)	99	121	135	144	40	50	50
propylacetaat (iso-)	92	113	126	133	40	50	50
methanol	127	142	151	156	60	55	55
propanol (iso-)	161	183	196	205	75	70	65
ethanol	168	191	204	212	80	75	70

Tabel 10.1.4.9 Effect- en risicoafstanden voor een 6" flexibele losslang voor schepen

10.1.4.4 Verlaadslang tankwagens

Tabel 10.1.4.10 toont de berekende risicoafstanden tot een plaatsgebonden mensrisico van $10^{-5}/j$, $10^{-6}/j$, $10^{-7}/j$ en $10^{-8}/j$ en de berekende maximale effectafstanden tot een letaliteit van 1% (scenario: plasbrand na breuk van de slang met een falende noodstop) voor een 3" flexibele slang die gedurende 1.000 uren per jaar wordt gebruikt voor het laden van tankwagens. De bestudeerde stoffen in de tabellen zijn gerangschikt op basis van een afnemende waarde van de ontvlambaarheidsindex OV_1 .

Product	Risicoafstanden [m]				breuk slang (falende noodstop) - plasbrand		
	$10^{-5}/j$	$10^{-6}/j$	$10^{-7}/j$	$10^{-8}/j$	F20	D50	D70
pentaan (iso-)	25	33	51	71	35	40	45
penteen (1-)	25	33	49	69	35	40	45
isopreen	25	32	44	62	35	40	45
pentaan (n-)	25	33	43	61	35	40	45
neohexeen	25	33	42	47	35	40	45
diethylether	55	79	90	97	95	95	95
propylamine (iso-)	51	73	83	90	90	85	85
cyclopenteen	25	32	38	43	35	40	45
dimethylsulfide	53	74	84	91	90	90	85
neohexaan	25	33	38	43	35	40	45
ethylmercaptaan	53	74	84	91	90	90	85
cyclopentaan	25	32	37	43	35	40	45
methyl-tert-butylether	25	32	37	42	35	40	45
propylmercaptaan (iso-)	59	77	88	95	95	95	90
hexeen (1-)	25	32	38	43	35	40	45
hexaan (n-)	25	32	38	43	35	40	45
ethyltert-butylether	25	32	38	43	35	40	45
aceton	54	68	78	84	85	80	80
tetrahydrofuraan	60	78	89	96	95	95	90
benzeen	25	32	38	43	35	40	45
cyclohexaan	25	32	38	43	35	40	45
methylethylketon	57	72	82	88	85	85	85
triethylamine	25	32	38	42	35	40	45
vinylacetaat	57	72	82	89	85	85	85
ethylacetaat	57	72	82	88	85	85	85

Product	Risicoafstanden [m]				breuk slang (falende noodstop) - plasbrand		
	10 ⁻⁵ /j	10 ⁻⁶ /j	10 ⁻⁷ /j	10 ⁻⁸ /j	F20	D50	D70
heptaan (n-)	25	32	38	42	35	40	45
propylacetaat (iso-)	25	31	37	41	35	40	40
methanol	31	40	44	48	50	45	45
propanol (iso-)	43	57	64	69	70	65	65
ethanol	43	56	63	68	70	65	60

Tabel 10.1.4.10 Effect- en risicoafstanden voor een 3" flexibele laadslang voor tankwagens

10.1.5 Conclusies

Op basis van de resultaten die worden weergegeven in tabellen 10.1.4.1 t.e.m. 10.1.4.10 (berekende risicoafstanden voor installaties met (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen, inclusief plasbrand-scenario's) wordt geconcludeerd dat het risicopotentieel van de bestudeerde (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen, met uitzondering van de vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam, goed kan worden ingeschat met de vooropgestelde ontvlambaarheidsindices.

Voor de vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam (vloeistoffen met minder dan vijf koolstofatomen) is het plaatsgebonden mensrisico, dat quasi volledig wordt bepaald door de plasbrandscenario's, veel groter dan verwacht op basis van de eerder afgeleide ontvlambaarheidsindices. Dit wordt geïllustreerd in tabel 10.1.5.1 waarin de bestudeerde vloeistoffen worden gerangschikt volgens een afnemende risicoafstand tot een plaatsgebonden mensrisico van 10⁻⁶/j (tankenparken en scheepsverlading) en 10⁻⁷/j (stelplaats tankcontainers en tankwagenverlading).

Daarom wordt voorgesteld om een aparte representatieve stof te kiezen voor het scenario plasbrand, voor zover de op- of overslag van vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam niet wordt uitgesloten. Voor het scenario plasbrand worden drie nieuwe representatieve stoffen voorgesteld op basis van de omvang van de berekende effecten van het betreffende scenario.



Tankenpark 3	Tankenpark 7	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Laadslang tankwagens
<p>pentaan (iso-) diethylether tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) penteen (1-) dimethylsulfide vinylacetaat propylamine (iso-) ethylmercaptaan methylethylketon ethylacetaat aceton isopreen pentaan (n-) neohexeen propanol (iso-) ethanol</p>	<p>pentaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-) tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-)</p> <p>cyclopenteen neohexaan dimethylsulfide ethylmercaptaan vinylacetaat methylethylketon ethylacetaat aceton cyclopentaan methyl-tert-butylether propanol (iso-) ethanol hexeen (1-)</p>	<p>diethylether tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) dimethylsulfide propylamine (iso-) ethylmercaptaan methylethylketon ethylacetaat aceton vinylacetaat propanol (iso-) ethanol pentaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaan (n-) neohexeen methanol</p> <p>cyclopenteen neohexaan cyclopentaan hexeen (1-)</p>	<p>pentaan (iso-) penteen (1-) isopreen pentaan (n-) neohexeen diethylether propylamine (iso-)</p> <p>cyclopenteen neohexaan dimethylsulfide cyclopentaan propylmercaptaan (iso-) tetrahydrofuraan ethylmercaptaan methylethylketon methyl-tert-butylether ethylacetaat aceton vinylacetaat ethanol hexeen (1-) propanol (iso-)</p>	<p>diethylether tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) dimethylsulfide ethylmercaptaan propylamine (iso-) vinylacetaat methylethylketon ethylacetaat aceton propanol (iso-) ethanol pentaan (iso-) penteen (1-) isopreen methanol pentaan (n-) neohexeen</p> <p>cyclopenteen neohexaan cyclopentaan methyl-tert-butylether</p>

Tankenpark 3	Tankenpark 7	Stelplaats tankcontainers	Losslang schepen	Laadslang tankwagens
hexeen (1-)	hexaan (n-)	hexaan (n-)	hexaan (n-)	hexeen (1-)
benzeen	methanol	ethyltert-butylether	ethyltert-butylether	hexaan (n-)
cyclohexaan	ethyltert-butylether	benzeen	methanol	ethyltert-butylether
triethylamine	benzeen	cyclohexaan	heptaan (n-)	benzeen
hexaan (n-)	cyclohexaan	triethylamine	triethylamine	cyclohexaan
ethyltert-butylether	triethylamine	heptaan (n-)	benzeen	triethylamine
heptaan (n-)	heptaan (n-)	propylacetaat (iso-)	propylacetaat (iso-)	heptaan (n-)
propylacetaat (iso-)	propylacetaat (iso-)	methyl-tert-butylether	cyclohexaan	propylacetaat (iso-)

(*) De stoffen die in het rood worden weergegeven in de tabel geven bij verbranding aanleiding tot een heldere vlam. De stoffen die in het vet worden aangeduid, zijn de stoffen die in § 2.3.2.6 werden voorgesteld als representatieve stoffen voor de indelingsgroepen F0 t.e.m. F3.

Tabel 10.1.5.1 Indeling van de (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen op basis van de risicoafstanden tot 10^{-6} /j zoals berekend in de casestudie (inclusief plasbranden)



Indelingsgroep	Referentiestof	Andere stoffen binnen deze groep
Groep PF0	diethylether	tetrahydrofuraan propylmercaptaan (iso-) dimethylsulfide vinylacetaat propylamine (iso-) ethylmercaptaan methylethylketon ethylacetaat aceton
Groep PF1	propanol (iso-)	ethanol
Groep PF2	methanol	-

Tabel 10.1.5.2 Indeling van (zeer) licht ontvlambare vloeistoffen die bij verbranding aanleiding geven tot een heldere vlam in groepen met afnemende effecten voor het scenario plasbrand

Tot slot wordt opgemerkt dat de voorgestelde maximale stralingswarmteflux van 140 kW/m² voor heldere vlammen zoals opgenomen in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)*, onafhankelijk is van de verbrandingswarmte en het verbrandingsdebiet van de ontvlambare vloeistoffen.

Volgens het Gele Boek (TNO, 2005) kan de stralingswarmteflux van een heldere vlam worden bepaald met behulp van volgende formule;

$$E_{max} = \frac{F_s \cdot m_b \cdot \Delta H_c}{1 + 4 \cdot L/D}$$

waarin m_b (kg/m².s) het specifieke verbrandingsdebiet is, ΔH_c (J/kg) de verbrandingswarmte, F_s (-) de fractie van het vermogen van de vlam dat wordt uitgestraald, D (m) de equivalente vlamdiameter en L (m) de vlamlengte.

Tabel 10.1.5.3 toont de berekende stralingswarmtefluxen van heldere vlammen met een equivalente diameter van 10 tot 50 m volgens bovenstaande formule, uitgaande van een maximale uitgestraalde fractie van 0,35 voor heldere vlammen en een L/D-verhouding van de vlam die berekend wordt volgens formule 10.1.3.1 bij een windsnelheid van 3 m/s.

Op basis van de gegevens in onderstaande tabel lijkt de waarde van 140 kW/m² voor een heldere vlam zoals opgenomen in het *Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019)* in vele gevallen een overschatting te zijn.

Indelingsgroep	$D_{eq.} = 10 \text{ m}$	$D_{eq.} = 25 \text{ m}$	$D_{eq.} = 50 \text{ m}$
Groep PF0	70 - 115 kW/m ²	80 - 140 kW/m ²	95 - 165 kW/m ²
Groep PF1	60 - 75 kW/m ²	70 - 90 kW/m ²	80 - 105 kW/m ²
Groep PF2	35 kW/m ²	40 kW/m ²	45 kW/m ²

Tabel 10.1.5.3 Berekende waarden voor de stralingswarmteflux van een heldere vlam met een equivalente diameter van 10 tot 50 m